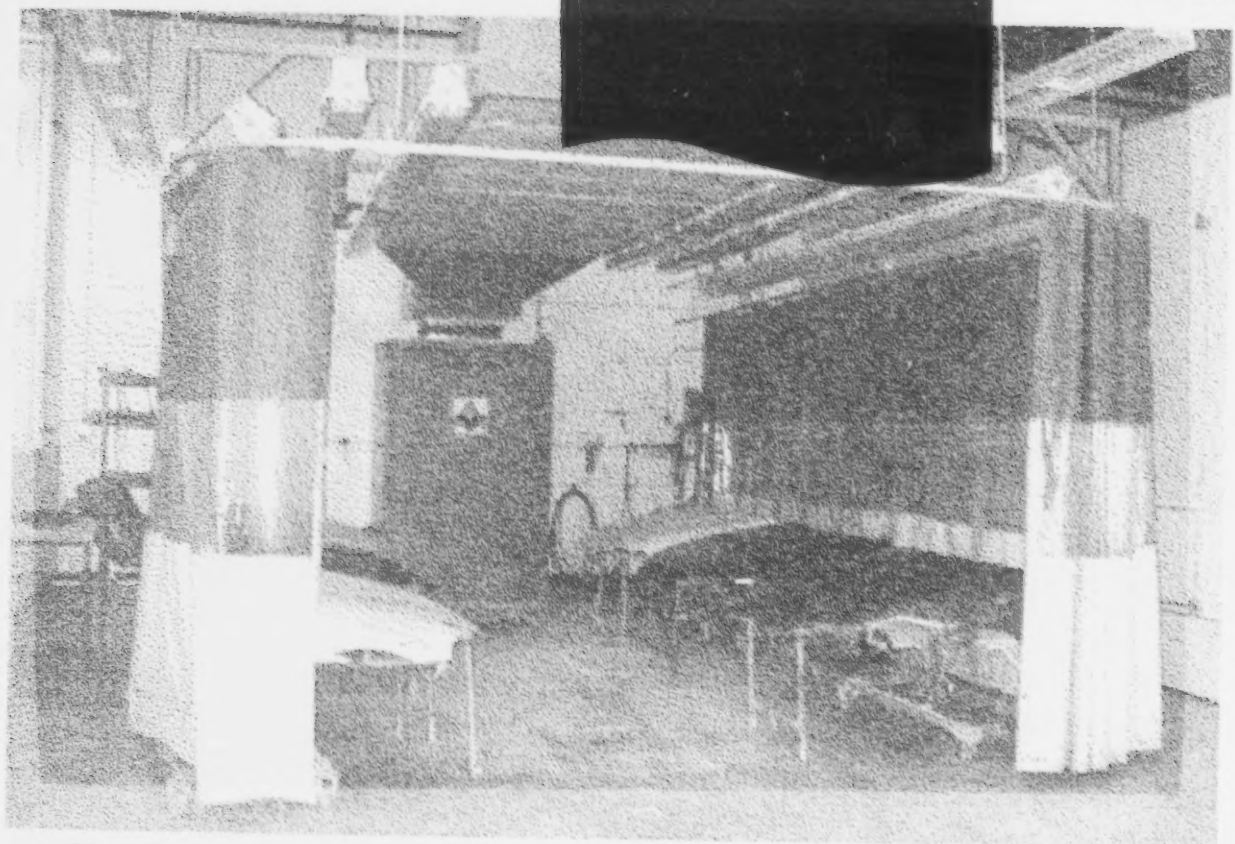
# ÉTUDES ET RECHERCHES

# Évaluation du confinement des aires de préparation lors de l'application de peinture

Louis Lazure
Hedi Abdellaoui
Jacques Lesage
Martine Charette

R-353

RAPPORT



irsst

**Solidement implanté au Québec depuis 1980, l'Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail (IRSST) est un organisme de recherche scientifique reconnu internationalement pour la qualité de ses travaux.**

# NOS RECHERCHES
## *travaillent* pour vous !

**MISSION**

- Contribuer, par la recherche, à la prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles ainsi qu'à la réadaptation des travailleurs qui en sont victimes.
- Offrir les services de laboratoires et l'expertise nécessaires à l'action du réseau public de prévention en santé et en sécurité du travail.
- Assurer la diffusion des connaissances, jouer un rôle de référence scientifique et d'expert.

Doté d'un conseil d'administration paritaire où siègent en nombre égal des représentants des employeurs et des travailleurs, l'IRSST est financé par la Commission de la santé et de la sécurité du travail.

**POUR EN SAVOIR PLUS...**

Visitez notre site Web ! Vous y trouverez une information complète et à jour. De plus, toutes les publications éditées par l'IRSST peuvent être téléchargées gratuitement.
**www.irsst.qc.ca**

Pour connaître l'actualité de la recherche menée ou financée par l'IRSST, abonnez-vous gratuitement au magazine *Prévention au travail*, publié conjointement par l'Institut et la CSST.
**Abonnement : 1-817-221-7046**

Dépôt légal
Bibliothèque nationale du Québec
2003
ISBN : 2-551-22422-5
ISSN : 0820-8395

IRSST - Direction des communications
505, boul. De Maisonneuve Ouest
Montréal (Québec)
H3A 3C2
Téléphone : (514) 288-1551
Télécopieur : (514) 288-7636
publications@irsst.qc.ca
**www.irsst.qc.ca**
© Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail, décembre 2003

105-00146/

# Évaluation du confinement des aires de préparation lors de l'application de peinture

ÉTUDES ET RECHERCHES

Louis Lazure, Hygiène du travail, IRSST
Hedi Abdellaoui, UQTR
Jacques Lesage, Services et expertises de laboratoire, IRSST
Martine Charette, ASP Auto Prévention

RAPPORT

Cliquez recherche
www.irsst.qc.ca

Cette publication est disponible
en version PDF
sur le site Web de l'IRSST.

Cette étude a été financée par l'IRSST. Les conclusions et recommandations sont celles des auteurs.

**CONFORMÉMENT AUX POLITIQUES DE L'IRSST**

**Les résultats des travaux de recherche publiés dans ce document ont fait l'objet d'une évaluation par des pairs.**

**Remerciements**

La réussite de cette activité de recherche a été rendue possible grâce à l'implication, la participation et le support de plusieurs personnes, organismes et entreprises, notamment la CSST, le comité provincial sur les isocyanates, les concessionnaires d'automobiles, un centre de formation professionnelle et les fournisseurs d'équipement de ventilation.

**Équipe de recherche**

La contribution des personnes suivantes a permis la réalisation du projet : madame L. Renée et messieurs Y. Beaudet, R. Gravel et C. Létourneau de l'IRSST pour le support technique lors des interventions en usine et l'analyse des échantillons, messieurs J. Banville et L. Lacroix, peintres.

## TABLE DES MATIÈRES

*1. DESCRIPTION DU PROJET* ..... *5*

**Problématique de santé et sécurité du travail et objectifs spécifiques :** ..... **5**
Objectif : ..... 5
Méthode : ..... 5

*2. MÉTHODOLOGIE* ..... *6*

**DESCRIPTION DES AIRES DE PRÉPARATION ET PARAMÈTRES AÉRAULIQUES** ..... **6**
Modèle Concept Prep ..... 6
Modèle Ultraprep ..... 7
Modèle Multi-prep 3 ..... 7
Modèle Prep Station ..... 8

**Procédure expérimentale** ..... **8**

**Méthodes de référence pour le dosage du HDI** ..... **9**
Principe de la méthode ..... 9
Analyse du HDI sous forme vapeur dans l'air [6] ..... 10
Analyse du HDI sous forme aérosol dans l'air [8] ..... 10

**Technique de traçage** ..... **10**
Stabilité chimique du traceur ..... 11
Confinement des aires de préparation ..... 11
Efficacité de captage ..... 12

**Évaluation des paramètres aérauliques** ..... **13**

**Évaluation qualitative des émissions fugitives** ..... **13**

*3. RÉSULTATS* ..... *13*

**Modèle Concept Prep** ..... **14**
Contaminants chimiques ..... 14
Test de confinement ..... 14
Efficacité de captage ..... 15
Essai avec source fumigène ..... 15

**Modèle Ultraprep** ..... **15**
Contaminants chimiques ..... 15
Test de confinement ..... 16
Efficacité de captage ..... 17
Essai avec source fumigène ..... 17

**Modèle Multi-prep 3** ..... **17**
Contaminants chimiques ..... 18
Test de confinement ..... 18
Efficacité de captage ..... 20
Essai avec source fumigène ..... 20

**Modèle Prep Station** ..... **20**
Contaminants chimiques ..... 20
Test de confinement ..... 21
Efficacité de captage ..... 22
Essai avec source fumigène ..... 22

***4. DISCUSSION*** ..... ***22***

***5. CONCLUSION*** ..... ***25***

***6. RÉFÉRENCES*** ..... ***25***

# 1. DESCRIPTION DU PROJET

## Problématique de santé et sécurité du travail et objectifs spécifiques :

Depuis le début de l'automne 1998, un comité provincial sur les isocyanates a été mis sur pied par la Commission en santé et en sécurité du travail (CSST) et regroupe des intervenants de la CSST, des régies régionales (RR), des Centres locaux de services communautaires (CLSC), de l'Association sectorielle paritaire (ASP)-Auto Prévention et de l'Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail (IRSST). En raison du nombre de cas d'asthme professionnel répertoriés à la CSST qui sont liés aux ateliers de carrosserie, la pulvérisation de peinture automobile contenant des isocyanates constitue une priorité d'intervention. En collaboration avec l'ASP-Auto Prévention, l'IRSST a déjà réalisé dans ce secteur deux études, l'une qui portait sur l'évaluation des niveaux d'exposition aux isocyanates [1] et l'autre sur le design et les critères de performance des cabines à peinture [2]. Dans les ateliers de carrosserie, l'utilisation d'une cabine à peinture fermée pour tous les travaux de pulvérisation constitue un facteur limitatif à la production. Pour accroître le rythme de production et rendre les travaux de carrosserie plus flexibles, la cabine à peinture fermée est réservée aux travaux de pulvérisation pour les couches de finition, tandis que les travaux d'application d'apprêt et les petits travaux de finition sont exécutés dans des aires de préparation ventilées souvent appelées Prep Station. L'efficacité d'élimination des vapeurs et de confinement des aires de préparation ventilées soulève des interrogations. Dans le but d'obtenir une vue d'ensemble sur les niveaux d'exposition aux isocyanates, il est important d'évaluer l'exposition (1) du peintre lors des travaux de pulvérisation et (2) des travailleurs oeuvrant aux postes de travail à l'extérieur des aires de préparation ventilées. Actuellement, les performances de cette technologie n'ont pas été documentées quant à l'efficacité d'éliminer les contaminants dans l'air et les niveaux potentiels d'exposition sont inconnus.

*Objectif :*

Cette activité de recherche a pour objectif de documenter l'efficacité des aires de préparation à contrôler l'émission de contaminants lors de la pulvérisation d'un revêtement d'apprêt aux isocyanates. La pulvérisation est effectuée à l'aide d'un pistolet de type HVLP (haut volume-basse pression).

*Méthode :*

Pour faire une évaluation comparable des différents sites sélectionnés utilisant des aires de préparation, les échantillonnages sont effectués lors d'une simulation de peinture par des peintres professionnels. La simulation de peinture permet de fixer un certain nombre de paramètres et de contrôler les conditions d'application, soit :

- Type de peinture
- Quantité de peinture appliquée
- Type de pistolet et paramètres techniques d'application
- Paramètres de ventilation

Deux méthodes analytiques ont été utilisées pour documenter l'objectif de ce projet soit :

- Méthode de dosage des isocyanates pour le dosage du HDI monomère et des oligomères. Cette méthode permet de mesurer l'émission de HDI monomère et oligomères pendant l'application de peinture. L'évaluation des concentrations de HDI a été effectuée à l'intérieur et à l'extérieur de l'aire de préparation dans le but de documenter l'exposition du peintre et la dispersion des isocyanates.
- Un gaz traceur, l'hexafluorure de soufre ($SF_6$), a été utilisé pour suivre la dispersion des contaminants. La méthode par traçage permet d'atteindre une meilleure sensibilité analytique que la méthode pour le HDI. La technique permet également de mesurer de façon plus adéquate l'efficacité du système d'évacuation des contaminants.

## 2. MÉTHODOLOGIE

### DESCRIPTION DES AIRES DE PRÉPARATION ET PARAMÈTRES AÉRAULIQUES

*Modèle Concept Prep*

L'aire de préparation est située dans un centre de formation professionnelle. L'atelier servant aux opérations de réparation, de ponçage et de peinture de carrosserie dispose de deux aires de préparation (photo 1) avec compensation d'air dans l'atelier adjacent. L'aire de préparation soumise à l'étude de confinement est d'une surface approximative de 33 $m^2$. La zone de travail est délimitée par un rideau d'une hauteur de 3,6 m. Le système de ventilation (figure 1) se compose d'une fosse d'extraction avec pré-filtre, d'un caisson de filtration, d'un ventilateur, d'un plafond soufflant et d'une cheminée de dispersion. Le système de ventilation peut être utilisé sous 2 modes : pistolage lors l'application de peinture et recyclage lors du ponçage de surfaces. En mode pistolage, l'air est aspiré au niveau de la fosse, puis filtré et ensuite évacué à l'extérieur. En mode recyclage, la fermeture du volet motorisé situé à la base de la cheminée et l'ouverture de celui à l'entrée du plafond soufflant permettent le recyclage de l'air par le plafond soufflant. Le plafond soufflant, situé à une hauteur de 3,7 m, dispose d'une surface de diffusion 8,9 $m^2$, laquelle se situe à l'intérieur de la zone de travail délimitée par les rideaux. La surface de diffusion est constituée d'un média filtrant. La surface de la fosse d'extraction est de 3,6 $m^2$ et est recouverte d'un treillis métallique qui supporte un pré-filtre et d'un grillage d'acier permettant la libre circulation sur celle-ci.

En mode pistolage le débit d'évacuation mesuré dans la cheminée d'évacuation est de l'ordre de 272 $m^3$/min, soit un débit de 20% inférieur à la valeur spécifiée sur la fiche technique du manufacturier. Malgré les ajustements apportés au système d'entraînement du ventilateur par le fabricant-installateur, le débit d'évacuation spécifié au devis n'a pu être atteint. À notre avis, les conditions d'insertion du ventilateur dans le caisson sont de nature à causer une perte de charge apparente importante (system effect). La proximité de l'orifice d'aspiration du ventilateur relativement aux parois du caisson crée un étranglement à l'entrée du ventilateur (photos 1a et 1b) qui réduit le passage de l'air.

En mode pistolage une unité mécanique de compensation avec brûleur en veine d'air permet le remplacement de l'air évacué à l'extérieur du bâtiment. La bouche de soufflage est située à l'extérieur de l'aire de préparation soit à une distance approximative de 12 m. La mise en marche de l'unité de compensation est assurée par un dispositif d'asservissement relié au système d'évacuation. Le débit d'alimentation était de l'ordre de 289 $m^3$/min soit une valeur de 2%

supérieure à la valeur spécifiée. En opération, l'air s'écoule de l'atelier vers l'aire de préparation par les ouvertures situées (1) à la base du rideau et (2) entre le dessus du rideau et le plafond soufflant. Le système de ventilation générale desservant l'atelier était en arrêt lors des essais.

*Modèle Ultraprep*

L'aire de préparation soumise à l'évaluation est située chez un concessionnaire d'automobiles. L'établissement est doté de deux aires de préparation à ventilation oblique. Les deux aires contiguës sont séparées par un rideau (photo 2). L'évaluation a porté sur l'aire située à droite de la photo et dispose d'une surface de travail approximative de 23 $m^2$. La zone de travail est délimitée par un rideau d'une hauteur de 3,6 m. Le système de ventilation (figure 2) se compose d'un caisson latéral d'aspiration avec pré-filtre (photo 2a), d'une unité de filtration, d'un ventilateur, d'un plafond soufflant et d'une cheminée de dispersion Le système de ventilation dessert les deux aires simultanément et peut être utilisé sous deux modes : pistolage lors l'application de peinture et recyclage lors du ponçage de surfaces. En mode pistolage, l'air est aspiré au niveau du caisson latéral, puis filtré et ensuite évacué à l'extérieur. En mode recyclage, la fermeture du volet motorisé situé à la base de la cheminée et l'ouverture de celui à l'entrée du plafond soufflant permettent le recyclage de l'air. Le plafond soufflant, constitué d'un média filtrant, est situé à une hauteur de 2,6 m et a une surface de diffusion de 11,7 $m^2$ laquelle se situe à l'intérieur de la zone de préparation délimitée par les rideaux. Le pistolage est asservi à la ventilation et une minuterie en contrôle la durée de fonctionnement. En mode pistolage, une unité mécanique de compensation avec brûleur en veine d'air permet le remplacement de l'air évacué à l'extérieur du bâtiment. Lors du test le débit total d'évacuation était de 269 $m^3$/min soit 5% inférieur aux spécifications alors que le débit total de soufflage était de 297 $m^3$/min. Il est à noter que le manufacturier recommande une légère surpression par décalage aéraulique afin de prévenir la contamination de la zone de travail par de l'air provenant de l'atelier adjacent ce qui pourrait avoir une incidence sur la qualité de finition de la peinture appliquée.

*Modèle Multi-prep 3*

L'aire de préparation soumise à l'étude de confinement est située chez un concessionnaire d'automobiles. Le système de ventilation (figure 3) se compose d'un caisson latéral d'aspiration, d'une unité de filtration, d'un ventilateur, d'un plafond soufflant et d'une cheminée de dispersion. La surface de travail est approximativement de 26 $m^2$. La zone de travail est délimitée par un rideau d'une hauteur de 2,9 m (photo 3). Le système de ventilation peut être utilisé sous deux modes : pistolage lors l'application de peinture et recyclage lors du ponçage de surfaces. En mode pistolage, l'air est aspiré au niveau du caisson d'aspiration (photo 3a), puis filtré et ensuite évacué à l'extérieur. Aucun système mécanique de compensation d'air n'est installé. En mode recyclage, la fermeture du volet motorisé à la base du conduit d'évacuation situé en amont de la cheminée et l'ouverture de celui à l'entrée du plafond soufflant permettent le recyclage de l'air par le plafond soufflant. Le plafond soufflant constitué d'un média filtrant est situé à une hauteur de 3 m et a une surface de diffusion 10,7 $m^2$ dont 33% se situe à l'extérieur de la zone de préparation délimitée par les rideaux. Le pistolage n'est pas asservi à la ventilation. Le fonctionnement de

l'unité est contrôlé par une minuterie. Le débit d'aspiration était de l'ordre de 276 $m^3$/min soit 19% inférieur aux spécifications.

*Modèle Prep Station*

L'aire de préparation soumise à l'évaluation est située chez un concessionnaire d'automobiles. L'établissement dispose de deux aires de préparation à ventilation verticale (photo 4, figure 4). Les deux aires sont contiguës et séparées par un rideau. L'évaluation a porté sur l'aire située à gauche de la photo et dispose d'une surface de travail approximative de 25 $m^2$. La zone de travail est délimitée à l'avant et sur un coté par un rideau d'une hauteur de 3,7 m et sur l'autre coté par un mur de maçonnerie avec une toile sur la partie supérieure. Le système de ventilation dessert les deux aires de travail simultanément et peut être utilisé sous deux modes : pistolage lors l'application de peinture et recyclage lors du ponçage de surfaces. En mode pistolage, l'air est aspiré au niveau de chacune des fosses, filtré et ensuite évacué à l'extérieur. Les dimensions de la fosse d'extraction sont de 1,5 m de largeur par 4,9 m de longueur. Les mesures effectuées à l'aide d'un balomètre placé directement sur les orifices d'aspiration démontrent que le débit d'aspiration est généralement bien réparti sur toute la longueur de la fosse. En mode recyclage, la fermeture du volet motorisé à la base du conduit d'évacuation situé en amont de la cheminée d'évacuation et l'ouverture de ceux à l'entrée des conduits de dérivation des plafonds soufflants permettent le recyclage de l'air dans les aires de préparation. Le plafond soufflant, constitué d'un média filtrant, est situé à une hauteur de 2,7 m et possède une surface de diffusion 11,8 $m^2$. En mode pistolage, une unité mécanique de compensation avec brûleur en veine d'air permet le remplacement de l'air évacué à l'extérieur du bâtiment. Il est à noter qu'avant le début des essais, des variations importantes de débits (soufflage et évacuation) ont été observées. À notre avis, ces variations de débits seraient attribuables à l'ouverture et la fermeture des portes de garage et au fonctionnement des systèmes d'évacuation desservant l'atelier de carrosserie adjacent à l'atelier de peinture: lorsque l'appel d'air créé par les évacuateurs n'est pas comblé, le débit d'évacuation peut diminuer en raison de la forte inertie causée par l'étanchéité du bâtiment. Afin de pallier cette situation les essais ont été réalisés en maintenant les portes fermées et en mettant les autres systèmes de ventilation à l'arrêt. Lors du test, le débit total d'évacuation pour les deux aires de préparation était de l'ordre de 349 $m^3$/min et le débit total d'alimentation de 416 $m^3$/min. Il s'agit d'un décalage aéraulique de 19% qui serait acceptable selon le manufacturier. Le pistolage n'est pas asservi à la ventilation. Le fonctionnement de l'unité est contrôlé par une minuterie. Il est à noter que le manufacturier recommande une légère surpression par décalage aéraulique afin de prévenir la contamination de la zone de travail par de l'air provenant de l'atelier adjacent, ce qui pourrait avoir une incidence sur la qualité de finition de la peinture appliquée.

## Procédure expérimentale

L'étude a porté sur les quatre aires de préparation décrites précédemment, lesquelles présentent des caractéristiques physiques et aérauliques différentes. Préalablement aux essais, des relevés ont été effectués à chacune des installations pour s'assurer que les paramètres aérauliques étaient conformes aux spécifications des manufacturiers. Pour chacune des aires, les pré-filtres situés au niveau des orifices de captage (caisson latéral d'aspiration et fosse d'extraction) ont été remplacés. Au besoin, les filtres situés en amont des ventilateurs ont été également remplacés. En dépit de réparations et d'ajustements effectués sur certains systèmes de ventilation, des écarts ont subsisté entre les débits spécifiés et les débits mesurés. En l'absence de rapport d'équilibrage

pour les quatre installations, il nous a été impossible d'établir si les débits d'air qui prévalaient lors de leur mise en marche initiale étaient inférieurs aux spécifications, ce qui pourrait expliquer l'impossibilité d'atteindre les débits d'air désirés en dépit des ajustements effectués. Dans tous les cas, les débits mesurés ont été rapportés aux manufacturiers afin qu'ils puissent statuer sur la situation et intervenir le cas échéant.

Dans tous les bâtiments, les essais ont été réalisés alors que (1) les systèmes de ventilation générale et locale desservant les postes de travail à proximité ou les ateliers adjacents étaient inopérants, et (2) les fenêtres et les portes donnant accès à l'extérieur étaient fermées. L'application de ces dispositions a ainsi permis de soustraire de l'étude leur impact respectif sur la dilution des polluants dans le voisinage des aires de préparation et sur le fonctionnement des dispositifs de ventilation.

La peinture appliquée lors des essais était de l'acrylique uréthane (apprêt garnissant uréthane 2K-1144S de marque Dupont) utilisant un activeur à base d'isocyanate (activeur pour apprêt garnissant uréthane 2K-1125S de marque Dupont) introduit dans la peinture peu avant son application. L'apprêt utilisé est représentatif des produits généralement pulvérisés lors des étapes de préparation d'un véhicule. Bien que le vernis soit le produit qui contienne le plus d'isocyanates, celui-ci est surtout pulvérisé en cabine fermée. Pour l'ensemble des tests, un type de carrosserie a été utilisé soit celle habillant les automobiles de modèles Camaro 2000 et Firebird 2000 et dont les dimensions et la géométrie sont similaires. Pour chaque test, la pulvérisation de l'apprêt a été effectuée par un peintre professionnel portant une combinaison couvrant tout le corps, des gants de nitrile et une protection respiratoire à adduction d'air à débit continu incluant un masque complet. La période d'application visée était de 30 minutes, soit une durée comparable à celle que prendrait la pulvérisation d'un véhicule complet qui est d'environ 15 à 20 minutes. Dans certains cas, la période d'application a été inférieure à 30 minutes en raison de difficultés techniques. La durée de 30 minutes a été retenue pour deux raisons, soit, (1) pour s'assurer que lors de l'échantillonnage des polluants, une quantité suffisante d'isocyanates soit recueillie sur les dispositifs d'échantillonnage, particulièrement pour les postes à l'extérieur de l'aire d'application, (2) pour permettre au peintre d'œuvrer dans toutes les zones de l'aire de préparation puisque l'efficacité de captage varie notamment en fonction de la proximité du capteur relativement à la source d'émission. Les postes d'échantillonnage pour l'évaluation du gaz traceur et des isocyanates ont été disposés de façon à documenter l'exposition personnelle du peintre et en poste fixe de façon à mesurer le confinement de ces substances. L'application de peinture a été effectuée par pulvérisation pneumatique à l'aide d'un pistolet de type HVLP (haut volume-basse pression) avec alimentation par gravité. Le pistolet était de marque DeVilbiss (modèle GFG-516) (photo 5). Le diamètre de la buse d'injection du chapeau d'air était de 1,6 mm et la pression manométrique à l'entrée du pistolet était réglée à 206 kPa.

## Méthodes de référence pour le dosage du HDI

### *Principe de la méthode*

Le système d'échantillonnage développé par Lesage et Perrault [3] utilise deux filtres en série placés dans une cassette de 37 mm de diamètre. Un volume connu d'air est aspiré au travers la

cassette par un orifice d'entrée de 4 mm. Le premier filtre de téflon capte par inertie les aérosols de HDI. Le deuxième filtre en fibres de verre (F.F.V.) imprégné d'un réactif sert à adsorber les vapeurs de HDI. Les vapeurs de HDI sont dérivées par le réactif 9-(N-méthylaminométhyl) anthracène (MAMA) simultanément lors de l'échantillonnage [4,5].

*Analyse du HDI sous forme vapeur dans l'air* [6]

L'isocyanate présent sous forme vapeur réagit avec le 9-(N-méthylaminométhyl)anthracène (MAMA) imprégné sur le F.F.V. pour former un dérivé urée de HDI (HDIU). La solution résultante est analysée par CLHP (chromatographie liquide à haute performance) avec détecteurs UV et fluorescence. La concentration de HDI dans l'air est calculée en tenant compte de la surface du pic obtenu, de la courbe d'étalonnage sur les détecteurs UV et fluorescence et du volume d'échantillonnage. La linéarité de la courbe d'étalonnage a été vérifiée pour des concentrations variant de 0,026 à 1,42 µg de HDI monomère dans 2 mL de solution de désorption, ce qui correspond à des concentrations de 0,002 à 0,095 mg/m³ de HDI pour un volume d'air prélevé de 15 L. Ce domaine couvre la concentration de la valeur d'exposition moyenne pondérée (VEMP) [7].

*Analyse du HDI sous forme aérosol dans l'air* [8]

Immédiatement après l'échantillonnage, le filtre de téflon est transféré dans une jarre à pommade et l'isocyanate capté sous forme d'aérosol est dérivé dans une solution de 1-(2-méthoxyphényl)piperazine (MOPIP) dans le toluène. La solution obtenue est ensuite évaporée à sec et le résidu est dissous dans une solution de désorption, puis analysé par CLHP avec détecteur à barrettes de photodiode (DAD). La linéarité de la courbe d'étalonnage a été vérifiée pour des concentrations variant de 0,041 à 1,66 µg de HDI monomère par mL de solution de désorption, ce qui correspond à des concentrations de 0,003 à 0,110 mg/m³ de HDI monomère pour un volume d'air prélevé de 15 L. La concentration du HDI monomère et oligomères (sous forme aérosol) dans l'air est calculée en tenant compte de la surface des pics obtenus pour le monomère et la sommation des pics pour les oligomères, de la courbe d'étalonnage sur le détecteur DAD et du volume d'air échantillonné. Le DAD est également utilisé pour l'identification des oligomères de HDI.

### Technique de traçage

Le confinement et l'efficacité de captage des aires de préparation ont été déterminés à l'aide de la technique de traçage qui peut être mise en œuvre sur site et dans les conditions réelles d'opération et de fonctionnement des installations. L'utilisation d'un traceur en substitution au contaminant réel facilite l'émission et la détermination des concentrations nécessaires pour l'évaluation de la dispersion du gaz à l'extérieur de l'aire de préparation ventilée ainsi que pour le calcul de l'efficacité de captage. L'application de la technique de traçage à l'aide d'un gaz pour simuler la dispersion des brouillards de peinture (formés de gouttelettes n'ayant pas atteint le subjectile et qui sont entraînées par les écoulements d'air tourbillonnaires et de vapeurs de solvant qui se dégagent lors de la pulvérisation) est possible puisque les paramètres d'utilisation de la technique sont rencontrés [9], soit; (1) les particules ont un diamètre aérodynamique inférieur à 30 µm, (2) les particules sont émises sans vitesse relative par rapport au gaz traceur et, (3) les temps de

transfert sont relativement courts. Le traceur, l'hexafluorure de soufre ($SF_6$), a été sélectionné en fonction de sa faible toxicité, de sa facilité de mesure et en raison du fait qu'il ne présente aucune interférence théorique avec les autres produits chimiques en présence. Compte tenu de la courte période des essais, la technique assure, comparativement à l'échantillonnage des polluants par prélèvement sur capteur pour isocyanates, (1) d'obtenir un plus grand nombre de valeurs, ce qui permet une meilleure appréciation de la dynamique des concentrations dans le temps et, (2) de mesurer des concentrations à des niveaux de sensibilité analytique plus bas. Il est à noter que les concentrations de traceur ne peuvent être utilisées pour prédire les concentrations de contaminants du brouillard de peinture en raison de variabilité du transfert massique de peinture entre le pistolet et le subjectile.

*Stabilité chimique du traceur*

Afin d'établir la stabilité chimique du traceur en présence des produits de peinture, une série de tests en laboratoire et in situ ont été effectués. Les tests réalisés en laboratoire ont consisté à (1) injecter une quantité de solvants de peinture (avec catalyseur) dans un sac contenant de l'hexafluorure de soufre et, (2) de mesurer, après évaporation du produit, la variation de la concentration de $SF_6$. Un analyseur multigaz (Brüel & Kjaer, modèle 1302 avec filtres optiques UA- 976 et 987) a été utilisé pour le prélèvement en continu et la détermination par spectroscopie photoacoustique des concentrations de $SF_6$ et de solvants (exprimée par le signal de référence du xylène) dans le mélange. À la figure 5, les quantités de solvants injectées ont été basées sur les valeurs d'exposition moyennes pondérées permises (VEMP) par la réglementation [7]. Il s'agit, selon notre expérience, de valeurs largement supérieures aux concentrations ambiantes normalement retrouvées pour ce type d'application de peinture. À la figure 6, les concentrations de solvants se rapprochent d'une situation environnementale plus réaliste. Les résultats obtenus démontrent que pour les deux tests effectués, les variations de concentration de $SF_6$ après injection de solvants sont inférieures à la précision rapportée de l'analyseur qui se situe à 1% [10].

Un essai in situ a été effectué pour confirmer l'absence d'interférence des produits de peinture sur les concentrations de traceur. L'essai a consisté à (1) injecter directement dans le capteur d'une installation de ventilation le mélange air-comprimé/traceur/peinture et, subséquemment le mélange air-comprimé/traceur uniquement et (2) de mesurer en aval du ventilateur d'évacuation les concentrations de $SF_6$. Pour réaliser cet essai, un panneau de bois a été déposé et peint dans la fosse d'extraction de manière à récolter la quantité maximale des émissions de $SF_6$ produites. Pour chacun des essais (figure 7, photo 6) les concentrations moyennes de $SF_6$ sont respectivement de 61,7 et de 63,5 ppm, ce qui représente un écart de moins de 3% entre les deux conditions d'application.

*Confinement des aires de préparation*

Des prélèvements de traceur provenant des émissions fugitives au périmètre des aires de préparation ont été effectués à l'aide de modules de prélèvement automatisé (photo 7) conçus et fabriqués à l'IRSST. Des prélèvements par sac d'une durée de trois minutes chacun ont été

réalisés à différents endroits pendant la période de pulvérisation. Lors des deux premiers tests, des prélèvements ont été réalisés pour évaluer la décroissance des concentrations de traceur suite à l'arrêt de la pulvérisation. La localisation et le nombre d'échantillonneurs ont été établis en fonction de la configuration de chacune des aires de préparation soumise à l'étude. Les échantillonneurs ont été placés au périmètre des aires de préparation à moins de trois mètres des rideaux dans le trajet présumé des émissions fugitives potentielles. Les concentrations de traceur ont été déterminées avec l'analyseur multigaz Brüel & Kjaer et par chromatographie à capture d'électrons à l'aide d'un appareil de marque Lagus Applied Technology (modèle Autotrac).

Afin de pouvoir comparer les résultats obtenus pour chacune des aires de préparation, nous suggérons d'utiliser un indice de fuite moyen (IF) pour chacun des postes, lequel est calculé à partir du rapport entre les concentrations moyennes aux postes ($C_i$) pendant toute la durée de pulvérisation et la concentration moyenne mesurée dans le système d'évacuation ($C_é$). L'utilisation de la concentration moyenne dans l'évacuation comme valeur de référence au lieu de la concentration moyenne dans l'aire de préparation est basée sur l'hypothèse que la concentration dans l'aire de préparation est à l'équilibre. À priori, la configuration des aires de préparation semble favoriser une introduction uniforme de l'air de remplacement sur toutes les faces, condition essentielle pour obtenir un mélange relativement homogène air-contaminant dans la zone de pulvérisation. L'indice de fuite s'exprime en pourcentage et se calcule à partir de l'expression suivante :

$$IF = C_i / C_é \times 100$$

où : $C_i$ = Concentration moyenne de traceur au poste i pendant toute la durée du test
$C_é$ = Concentration moyenne dans l'évacuation pendant toute la durée du test

Note : les concentrations moyennes $C_i$ et $C_é$ sont calculées à partir des prélèvements effectués pendant toute la durée du test incluant les périodes d'arrêt requises pour le remplissage du godet de peinture du pistolet.

*Efficacité de captage*

La mesure de l'efficacité de captage a été réalisée en complément à la mesure de confinement. Il s'agit d'une évaluation de la performance du dispositif de ventilation; les contaminants non captés par le dispositif, s'accumulent dans l'aire de travail et sont susceptibles de migrer à l'extérieur. Cette évaluation a pour objectif de voir si les dispositifs qui présentent une efficacité élevée sont moins sujets aux émissions fugitives. L'efficacité minimale de captage ($\eta_c$) de la cabine est déterminée par le rapport du débit-masse du polluant directement capté au débit-masse du polluant émis dans l'atmosphère. Comme les débits de ventilation et d'émission de traceur demeurent constants, l'efficacité de captage exprimée en pourcentage se calcule à partir de l'expression [11]:

$$\eta_c\,(95\%) = (C_3(95\%) - C_1 / C_2 - C_1) \times 100$$

où : $C_1$ = Concentration ambiante résiduelle mesurée en l'absence de toute émission ou accumulation par recyclage;

$C_2$ = Concentration moyenne de référence dans l'évacuation correspondant à la totalité du traceur émis dans l'orifice de captage;

$C_3$ = Concentration moyenne en traceur dans l'évacuation correspondant à une émission de traceur lors du pistolage.

L'efficacité de captage fractile à 95% est calculée pour tenir compte des fluctuations des concentrations. Ainsi une efficacité fractile égale à 70% signifie que l'efficacité mesurée est supérieure à 70% pendant 95% de la durée de la mesure concernée. De plus, le coefficient de variation ($\delta/C_3$, où $\delta$ = écart-type de $C_3$) est calculé pour déterminer la stabilité ou les fluctuations de captage relativement à la valeur moyenne de $C_3$.

En mode opératoire l'hexafluorure de soufre ($SF_6$) pur est injecté dans la ligne d'air comprimé (figure 8, photo 8) alimentant le pistolet. Le débit d'injection du traceur est fixé à 8 Lpm alors que le débit d'air comprimé alimentant le pistolet se situe approximativement à 40 Lpm. Les concentrations de traceur $C_1$ ont été mesurées lorsqu'il y avait possibilité de recyclage par le système d'air de compensation. Les prélèvements ont été effectués à l'aide de modules de prélèvement automatisés et les échantillons analysés avec l'analyseur multigaz B&K et le chromatographe LAT. Les concentrations de traceur $C_2$ et $C_3$ ont été mesurées en aval du ventilateur d'évacuation, à un endroit où il y a homogénéisation du mélange du flux d'air.

### Évaluation des paramètres aérauliques

Les débits de soufflage et d'aspiration dans les conduits de ventilation ont été calculés à partir de la détermination des champs de vitesse. Les mesures ont été effectuées à l'aide d'un anémomètre de marque TSI (modèles 8357 et 8384) et d'un tube de Pitot de marque Dwyer. Les pressions statiques ont été mesurées à l'aide d'un manomètre à colonne de liquide de marque Dwyer. Un balomètre de marque TSI (modèle AccuBalance) a été utilisé pour les mesures de débit au niveau des orifices d'aspiration. Lorsque requise, la surveillance du colmatage des filtres a été effectuée par la lecture de la pression différentielle avant et après le filtre à l'aide de manomètres à colonne de liquide.

### Évaluation qualitative des émissions fugitives

Une source fumigène à haut débit a été utilisée pour visualiser les mouvements de l'air à l'intérieur des cabines ainsi que les émissions fugitives vers l'extérieur de l'aire de préparation. La fumée est produite par la condensation à température ambiante des vapeurs d'alcools qui sont chauffées par une source thermique. Certaines séquences des essais ont été filmées par une caméra-vidéo numérique.

## 3. RÉSULTATS

Les concentrations de contaminants chimiques prélevés dans la zone respiratoire du peintre et aux différents postes ainsi que les résultats des essais avec la technique par traçage sont présentés pour chacune des aires de préparation (cf. annexe pour la localisation des postes). Pour chacun des tests, deux séries de prélèvements ont été effectuées pour les isocyanates. Il est à noter que

l'échantillonnage des vapeurs de solvant n'a pas été effectué pour le premier test, la décision d'effectuer des prélèvements supplémentaires ayant été prise suite à l'analyse des résultats du premier test qui démontraient l'absence d'isocyanates. Les observations découlant des essais effectués avec la source fumigène sont également présentées.

## Modèle Concept Prep

### *Contaminants chimiques*

Les concentrations de contaminants chimiques sont présentées au tableau 1. Deux séries de prélèvements d'isocyanates ont été effectuées : la première série a été effectuée pendant la période de pulvérisation alors que la deuxième a été réalisée après la période d'application pour déterminer la concentration résiduelle sur une période approximative de 30 minutes. En raison de problèmes techniques, la période d'application a été limitée à 21 minutes. Les résultats indiquent que les concentrations d'isocyanates prélevés en zone respiratoire du peintre ainsi qu'à l'intérieur et à l'extérieur de l'aire de préparation sont faibles. Toutes les concentrations sont, pour cette série d'échantillons, inférieures à la valeur minimum rapportée (VMR). Pour ces résultats, 50% de la VMR exprimée en mg/m$^3$ a été utilisée dans le tableau 1. Les solvants n'ont pas été échantillonnés lors de cet essai.

Tableau 1

| Substance | | Concentration (mg/m³) | | | | | Valeur d'exposition moyenne pondérée (VEMP)[1] (mg/m³) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Peintre | 1 | 2 | 3 | 4 | |
| HDI (monomère) | 1 | 0,0004 | 0,0004 | 0,0004 | 0,0004 | 0,0004 | 0,034 (EM,S)[2] |
| | 2 | 0,0004 | 0,0004 | 0,0004 | 0,0004 | 0,0004 | |
| HDI (oligomères) | 1 | 0,0006 | 0,0006 | 0,0006 | 0,0006 | 0,0006 | Pas de VEMP (EM) |
| | 2 | 0,0006 | 0,0006 | 0,0006 | 0,0006 | 0,0006 | |
| Acétate de butyle normal | | – | – | – | – | – | 713 |
| Acétate d'éthyle | | – | – | – | – | – | 188 |
| Éthylbenzène | | – | – | – | – | – | 434 |
| Toluène | | – | – | – | – | – | 188 |
| Xylène (isomères o,m,p) | | – | – | – | – | – | 434 |

Notes (1) : Règlement sur la santé et la sécurité du travail, Décret 885-2001, Gouvernement du Québec
(2) : EM – substance dont l'exposition doit être réduite au minimum, S - sensibilisant
Valeur calculée à partir de la VMR (représente 50% de la VMR en mg/m³)

### *Test de confinement*

La figure 9 présente les concentrations de $SF_6$ mesurées aux quatre postes à l'extérieur de l'aire de préparation. Les échantillonneurs étaient situés à moins de deux mètres du rideau. La figure 10 présente les concentrations de traceur dans la cheminée lors du pistolage ainsi que le débit

d'injection de traceur pendant la durée totale du test. Les périodes où il y a absence d'injection représentent les périodes de remplissage du godet alimentant le pistolet. La durée totale d'injection a été de 16 minutes et la période de prélèvement a été de 21 minutes. Les concentrations mesurées confirment qu'il y a fuite de traceur à l'extérieur de l'aire de préparation et de façon générale, pour les quatre postes, les fluctuations de concentrations coïncident entre elles. Les moyennes géométriques des concentrations sont, respectivement pour les postes 1 à 4, de 0,0026, 0,005, 0,006 et 0,01 ppm. L'analyse des résultats montre que 30 minutes après la fin de la pulvérisation, les concentrations résiduelles aux quatre postes sont inférieures de 99, 80, 76 et 92% à la concentration de départ.

L'analyse des concentrations de traceur en période de pistolage (excluant les concentrations lors des arrêts pour remplissage du godet) révèle que la concentration moyenne dans l'évacuation est de 20,9 ± 2,4 ppm avec un coefficient de variation de 0,11. En considérant une fluctuation négligeable de la répétabilité de 0,01 de la méthode analytique, la faible valeur du coefficient de variation témoigne du peu de fluctuation de la concentration moyenne de traceur dans l'évacuation confirmant ainsi l'hypothèse de départ selon laquelle le mélange air-contaminant est à l'équilibre.

Les indices de fuite moyens (IF), établis à partir des concentrations moyennes aux différents postes et de la concentration moyenne dans la cheminée d'évacuation de 7,4 ppm (figure 10) sont, respectivement pour les postes 1 à 4, de 0,35, 0,06, 0,09 et 0,11%. En raison de la distribution non-paramétrique des données, les moyennes géométriques ont été utilisées pour le calcul de l'indice.

#### *Efficacité de captage*

L'efficacité minimale de captage, $\eta_c$ (95%) se situe à 58%.

#### *Essai avec source fumigène*

L'évaluation qualitative de l'aire de préparation a permis d'observer que de façon générale l'écoulement de la fumée vers la fosse d'extraction est satisfaisant et ce, sur toute la hauteur du véhicule. Des émissions fugitives se produisent toutefois par les différentes ouvertures, notamment dans la partie supérieure du rideau. La quantité de fumée qui s'échappe varie selon la proximité et la direction du jet de fumée relativement aux ouvertures. De plus, il a été constaté qu'une partie de la fumée est partiellement recyclée dans l'aire de préparation par le plafond soufflant et ce, malgré la fermeture du volet.

### Modèle Ultraprep

#### *Contaminants chimiques*

Les concentrations de contaminants chimiques sont présentées au tableau 2 (cf. annexe pour la localisation des postes). Deux séries de prélèvements d'isocyanates ont été effectuées : la

première série a été effectuée lors de la pulvérisation d'une durée de 33 minutes alors que la deuxième a été réalisée pour déterminer la concentration résiduelle sur une période approximative de 27 minutes. On observe que la concentration moyenne de HDI (oligimères) est 2,5 fois plus élevée au poste 1 qu'en zone respiratoire du peintre. À l'extérieur de l'aire de préparation, toutes les concentrations de HDI ont été calculées à partir de la valeur minimum rapportée (VMR). Pour la deuxième série de prélèvements, les concentrations sont du même ordre de grandeur et ont été établies à partir de la valeur minimum rapportée. Les concentrations de solvants sont largement inférieures aux valeurs d'exposition moyennes pondérées (VEMP). Il est à noter que l'échantillonnage des solvants comprend la période de pulvérisation et la période post application.

Tableau 2

| Substance | | Concentration (mg/m³) | | | | | Valeur d'exposition moyenne pondérée (VEMP)[1] (mg/m³) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Peintre | 1 | 2 | 3 | 4 | |
| HDI (monomère) | 1 | 0,0007 | 0,0007 | 0,0007 | 0,0004 | 0,0004 | 0,034 (EM,S)[2] |
| | 2 | _ | 0,0004 | 0,0004 | 0,0004 | 0,0004 | |
| HDI (oligomères) | 1 | 0,015 | 0,04 | 0,0012 | 0,0006 | 0,0006 | Pas de VEMP (EM) |
| | 2 | _ | 0,0006 | 0,0006 | 0,0006 | 0,0006 | |
| Acétate de butyle normal | | _ | 9 | _ | N.D. | N.D. | 713 |
| Acétate d'éthyle | | _ | 10 | _ | 9 | 9 | 1440 |
| Éthylbenzène | | _ | 10 | _ | 6 | 8 | 434 |
| Toluène | | _ | _ | _ | _ | _ | 188 |
| Xylène (isomères o,m,p) | | _ | 50 | _ | 30 | 35 | 434 |

Notes (1) : Règlement sur la santé et la sécurité du travail, Décret 885-2001, Gouvernement du Québec
(2) : EM – substance dont l'exposition doit être réduite au minimum, S – sensibilisant
Valeur calculée à partir de la VMR (représente 50% de la VMR en mg/m³)

### *Test de confinement*

La figure 11 présente les concentrations de $SF_6$ mesurées aux 4 postes à l'extérieur de l'aire de préparation. Les échantillonneurs étaient situés à moins de 2 mètres du rideau. La figure 12 présente les concentrations de traceur dans la cheminée lors du pistolage ainsi que le débit d'injection de traceur pendant la durée totale du test. Les périodes où il y a absence d'injection représentent les périodes de remplissage du godet alimentant le pistolet. La durée totale d'injection a été de 30 minutes et la période de prélèvement a été de 33 minutes. Les concentrations mesurées confirment qu'il y a fuite de traceur à l'extérieur de l'aire de préparation. De façon générale, les fluctuations de concentrations coïncident entre elles, à l'exception du poste 4 où on observe un décalage dans la dynamique des concentrations relativement aux trois autres postes. Les moyennes géométriques des concentrations sont, respectivement pour les postes 1 à 4, de 41,8, 0,8, 6,5 et 39,5 ppm. L'analyse des résultats montre que 27 minutes après la fin de la

pulvérisation les concentrations résiduelles aux 4 postes sont inférieures de 99, 61, 98 et 99% à la concentration de départ.

Le phénomène de court-circuitage entre la cheminée d'évacuation et la prise d'air du système de compensation est faible, la concentration moyenne se situant à 0,02 ppm. L'étanchéité du volet de recirculation n'a pas été évaluée.

L'analyse des concentrations de traceur en période de pistolage (excluant les concentrations lors des arrêts pour remplissage du godet) révèle que la concentration moyenne dans l'évacuation est de 23,2 ± 2,84 ppm avec un coefficient de variation de 0,12. La faible valeur du coefficient de variation témoigne du peu de fluctuation de la concentration moyenne de traceur dans l'évacuation confirmant ainsi l'hypothèse de départ selon laquelle le mélange air-contaminant est à l'équilibre.

Les indices de fuite moyens (IF), établis à partir des concentrations moyennes aux différents postes et de la concentration moyenne dans la cheminée d'évacuation de 25,14 ppm (figure 12) sont, respectivement pour les postes 1 à 4, de 166, 3, 26 et 157%. En raison de la distribution non-paramétrique des données, les moyennes géométriques ont été utilisées pour le calcul de l'indice.

*Efficacité de captage*

L'efficacité minimale de captage, $\eta_c$ (95%) est égale à 62%.

*Essai avec source fumigène*

Des émissions fugitives ont été observées principalement à deux endroits, soit dans l'aire de préparation adjacente ainsi qu'à l'avant à proximité des portes de garage. De plus, des odeurs de solvants ont été rapportées dans le voisinage des aires de préparation

### Modèle Multi-prep 3

En raison de problèmes techniques le test a été effectué en deux parties. Dans la première partie, la quantité de peinture pulvérisée a été inférieure d'environ 50% à la quantité prévue au protocole d'essai. La période de pulvérisation a été d'une durée de 28 minutes sur une période de test de 30 minutes. Suite à une période d'arrêt de 7 minutes un second test d'une durée de 11 minutes a été effectué avec un débit de pulvérisation de peinture conforme au protocole d'essai et ce, en réduisant le débit d'injection du traceur de 8 Lpm à 4 Lpm. Les prélèvements d'isocyanates ont été effectués lors de chacun des tests et contrairement aux deux essais antérieurs la deuxième série d'échantillonnage d'isocyanates inclut une période de pulvérisation (11 minutes) et une période sans pulvérisation (12 minutes). En ce qui a trait aux prélèvements de solvants ils ont été effectués sans interruption, soit du début du premier test jusqu'à la fin du deuxième test.

Tableau 3

| Substance | | Concentration (mg/m³) | | | | | Valeur d'exposition moyenne pondérée (VEMP)[1] (mg/m³) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Peintre | 1 | 2 | 3 | 4 | |
| HDI (monomère) | 1 | 0,003 | 0,0034 | 0,0013 | 0,0008 | 0,0007 | 0,034 (EM,S)[2] |
| | 2 | 0,0013 | 0,0004 | 0,0007 | 0,0004 | 0,0009 | |
| HDI (oligomères) | 1 | 0,138 | 0,16 | 0,0009 | 0,0006 | 0,0006 | Pas de VEMP (EM) |
| | 2 | 0,04 | 0,0006 | 0,0006 | 0,0006 | 0,0006 | |
| Acétate de butyle normal | | _ | 15 | 4 | 15 | 4 | 713 |
| Acétate d'éthyle | | _ | 15 | 4 | 15 | 4 | 1440 |
| Éthylbenzène | | _ | 15 | 2 | 15 | 2 | 434 |
| Toluène | | _ | 6 | 7 | 6 | 5[3] | 188 |
| Xylène (isomères o,m,p) | | _ | 70 | 10 | 70 | 2 | 434 |

Notes (1) : Règlement sur la santé et la sécurité du travail, Décret 885-2001, Gouvernement du Québec
(2) : EM – substance dont l'exposition doit être réduite au minimum, S – sensibilisant
(3) : L'échantillonnage effectué avant la période de test indique que les concentrations résiduelles dans l'atelier étaient de 5 mg/m³ pour le toluène et inférieures à la valeur minimum rapportée pour les autres solvants.

Valeur calculée à partir de la VMR (représente 50% de la VMR en mg/m³)

### *Contaminants chimiques*

Les concentrations de contaminants chimiques sont présentées au tableau 3 (cf. annexe pour la localisation des postes). On observe que lors du premier test, les concentrations de HDI (monomère) sont du même ordre de grandeur au poste 1 qu'en zone respiratoire du peintre alors qu'au poste 2 les concentrations sont approximativement de 50% inférieures (cf. annexe pour la localisation des postes). Les concentrations de solvants sont largement inférieures aux valeurs d'exposition moyennes pondérées (VEMP) : à l'exception de la concentration de xylène mesurée au poste 1 qui se situe à 16% de la VEMP, toutes les concentrations se situent à moins de 4% de la VEMP. Il est à noter que les concentrations au poste 2 situé à l'intérieur de l'aire de préparation et celles aux postes 3 et 4 situés à l'extérieur sont du même ordre de grandeur.

### *Test de confinement*

La figure 13 présente les concentrations de $SF_6$ mesurées aux 4 postes à l'extérieur de l'aire de préparation pour les deux tests. Les échantillonneurs étaient situés à moins de 2 mètres du rideau. La figure 14 présente les concentrations de traceur dans la cheminée lors du pistolage ainsi que le débit d'injection de traceur pendant la durée totale du test. Les périodes où il y a absence d'injection représentent les périodes de remplissage du godet alimentant le pistolet. Pour le premier test, la durée totale d'injection a été de 28 minutes et la période de prélèvement utilisée a été de 30 minutes. Les concentrations mesurées confirment qu'il y a fuite de traceur à l'extérieur de l'aire de préparation. De façon générale, les fluctuations de concentrations coïncident entre

elles. Les moyennes géométriques des concentrations sont, respectivement pour les postes 1 à 4, de 0,2, 0,25, 0,08 et 0,07 ppm.

L'analyse des concentrations de traceur en période de pistolage (excluant les concentrations lors des arrêts pour remplissage du godet) révèle que la concentration moyenne dans l'évacuation est de 34,2 ± 9,1 ppm avec un coefficient de variation de 0,27. La valeur du coefficient de variation témoigne d'une plus grande fluctuation de la concentration moyenne de traceur dans l'évacuation comparativement aux autres aires de préparation étudiées. De plus, l'analyse des données indique que certaines concentrations dans l'évacuation sont supérieures à la concentration maximale théorique estimée à partir de l'hypothèse d'un mélange homogène du traceur dans le flux d'air. Or, il a été observé que cette situation se produit principalement lorsque le peintre se situe à proximité du caisson d'aspiration, ce qui laisse présumer que la distance entre le point d'émission et la sonde de prélèvement est trop courte pour permettre au traceur de se mélanger avec un volume d'air suffisamment élevé. Le passage du mélange air-traceur dans un ventilateur centrifuge a peu d'incidence sur le niveau de mélange puisque de façon similaire des problèmes de stratification sont fréquemment rencontrés dans les centrales de traitement d'air mettant en présence des flux d'air de températures différentes. L'utilisation d'une sonde multi-points, permettant de faire un prélèvement sur tout le diamètre du conduit d'évacuation, aurait possiblement permis d'atténuer le phénomène de stratification et de réduire la concentration moyenne de traceur. À notre avis le phénomène de stratification engendre une surestimation de la concentration moyenne d'environ 40% : en ne tenant pas compte des valeurs supérieures à la concentration maximale théorique, la concentration moyenne est abaissée à 26 ± 3,6 ppm. Il est à noter que le même phénomène a été observé lors de l'injection du traceur dans le capteur pour établir la concentration $C_2$ (requise pour le calcul de l'efficacité de captage); la valeur mesurée étant supérieure de plus de 60% de la valeur théorique. En ce qui a trait aux trois autres aires de préparation où aucun phénomène de stratification n'a été observé, la configuration des dispositifs de captage (fosse d'extraction, plénum de mélange en amont du capteur) semble favoriser un meilleur mélange air-traceur.

Les indices de fuite moyens (IF) établis à partir des concentrations moyennes aux différents postes et de la concentration moyenne dans la cheminée d'évacuation de 30,9 ppm (figure 14) sont, respectivement pour les postes 1 à 4, de 0,7, 0,8, 0,2 et 0,2%. Compte tenu de la surestimation de la concentration moyenne expliquée précédemment, les valeurs des indices de fuite sont sous-estimées. En raison de la distribution non-paramétrique des données, les moyennes géométriques ont été utilisées pour le calcul de l'indice.

Par ailleurs des prélèvements réalisés à l'intérieur du plafond soufflant (poste 5, figure 15) confirment qu'il y a migration du traceur en provenance du conduit d'évacuation par le volet motorisé de recirculation. En conséquence l'air vicié est partiellement recyclé dans l'aire de pulvérisation ainsi qu'à l'extérieur de la zone de pulvérisation puisque la surface de soufflage excède le périmètre de l'aire de préparation (photo 10). Par ailleurs la concentration moyenne des prélèvements effectués au poste 6, à proximité de la localisation du poste 2 mais à la hauteur du plafond soufflant (figure 16), se situe à 4,2 ppm. Il s'agit d'une valeur 14 fois plus grande que la concentration moyenne observée au poste 2. Cette différence de concentrations peut être liée au

recyclage de l'air vicié par le plénum ou à une fuite au niveau de l'espace ouvert à la partie supérieure du rideau.

*Efficacité de captage*

L'efficacité minimale de captage, $\eta_c$ (95%) est égale à 39%. Le calcul a été effectué à partir des valeurs non corrigées.

*Essai avec source fumigène*

L'évaluation qualitative réalisée à l'aide d'une source fumigène a permis de constater que la fumée s'échappe principalement à deux endroits, soit, par l'ouverture située à gauche du caisson d'aspiration (référence photo 8) entre le rideau et le mur derrière le système de ventilation et, par l'ouverture entre le plafond soufflant et le rideau. De plus, il a été observé qu'une partie de la fumée aspirée est partiellement recyclée par le plafond soufflant à l'intérieur et à l'extérieur de l'aire de préparation ce qui confirme l'étanchéité partielle du volet de recirculation. De façon générale, la vitesse d'écoulement de la fumée d'aspiration décroît rapidement en s'éloignant du caisson d'aspiration.

### Modèle Prep Station

L'évaluation a été réalisée en deux parties : la première pour mesurer les concentrations de contaminants, l'efficacité ($\eta_c$) de captage et l'indice de fuite (IF) et la seconde pour évaluer l'incidence de la position du peintre sur le captage. Dans la première partie la période de pulvérisation a été de 32 minutes sur une période de test de 34 minutes. La seconde partie a été initiée après un arrêt approximatif de 9 minutes et la pulvérisation a été effectuée successivement à 3 endroits, soit, à l'avant, sur le côté et à l'arrière du véhicule. La durée de pulvérisation a été de 3 minutes à chaque endroit.

*Contaminants chimiques*

Les concentrations de contaminants chimiques sont présentées au tableau 4 (cf. annexe pour la localisation des postes). On observe que lors du premier test, les concentration de HDI (monomère) sont du même ordre de grandeur alors que les concentrations de HDI (oligomères) sont généralement supérieures à l'intérieur comparativement à l'extérieur de l'aire de préparation (cf. annexe pour la localisation des postes). En raison de la présence d'une faible quantité d'isocyanates sur l'échantillon témoin, les concentrations de la majorité des échantillons doivent être interprétées avec discernement.

Autant à l'intérieur qu'à l'extérieur de l'aire de préparation les concentrations de solvants sont largement inférieures aux valeurs d'exposition moyennes pondérées (VEMP). Les concentrations aux postes 1 sont supérieures dans un rapport de plus de 2:1 relativement au poste 2. Il y a peu de différence entre les postes 3 et 4 qui sont situés à l'extérieur.

Tableau 4

| Substance | | Concentration (mg/m³) | | | | | Valeur d'exposition moyenne pondérée (VEMP)[1] (mg/m³) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Peintre | 1 | 2 | 3 | 4 | |
| HDI (monomère) | 1 | 0,005(3) | 0,006(3) | 0,008(3) | 0,003 | 0,002 | 0,034 (EM,S)[2] |
| | 2 | - | 0,004(3) | 0,003(3) | 0,001(3) | 0,003(3) | |
| HDI (oligomères) | 1 | 0,063(3) | 0,13(3) | 0,03(3) | 0,0003 | 0,0005 | Pas de VEMP (EM) |
| | 2 | - | 0,035(3) | 0,0007(3) | 0,0007(3) | 0,0006(3) | |
| Acétate de butyle normal | | - | 10 | 3 | 3 | 3 | 713 |
| Acétate d'éthyle | | - | 13 | 4 | 4 | 4 | 1440 |
| Éthylbenzène | | - | 20 | 9 | 2 | 2 | 434 |
| Toluène | | - | - | - | - | - | 188 |
| Xylène (isomères o,m,p) | | - | 70 | 30 | 10 | 6 | 434 |

Notes (1) : Règlement sur la santé et la sécurité du travail, Décret 885-2001, Gouvernement du Québec
(2) : EM – substance dont l'exposition doit être réduite au minimum, S – sensibilisant
(3) : Échantillons jumelés au témoin contaminé.
Valeur calculée à partir de la VMR (représente 50% de la VMR en mg/m³)

*Test de confinement*

La figure 16 présente les concentrations de $SF_6$ mesurées au deux postes situés à l'extérieur de l'aire de préparation. Les échantillonneurs étaient situés à moins de 2 mètres du rideau. La figure 18 présente les concentrations de traceur dans la cheminée lors du pistolage ainsi que le débit d'injection de traceur pendant la durée totale du test. Les périodes où il y a absence d'injection représentent les périodes de remplissage du godet alimentant le pistolet. La durée totale d'injection a été de 32 minutes et la période de prélèvement utilisée a été de 34 minutes. Les concentrations mesurées confirment qu'il y a fuite de traceur à l'extérieur de l'aire de préparation. La moyenne des concentrations est, respectivement pour les postes 1 et 2 de 2,7 et 2 ppm.

La concentration moyenne dans l'aire de préparation adjacente ($P_3$) se situe à 0,13 ppm soit une valeur de 27% supérieure à la concentration moyenne mesurée à l'entrée du système de compensation d'air alimentant le plafond soufflant. La présence de traceur à l'entrée est liée à un phénomène de court-circuitage des émissions provenant de la cheminée d'évacuation qui est située à quelques mètres (photo 4a). Il est cependant difficile de déterminer si le niveau de concentration dans l'aire adjacente est attribuable à une migration du traceur en provenance de la zone de pulvérisation ou si elle résulte d'une contamination de l'air par le volet motorisé situé dans le conduit d'évacuation. Des prélèvements de traceur effectués dans le conduit de dérivation (alimentant le plafond soufflant), à proximité du volet motorisé, indiquent des concentrations élevées de $SF_6$, soit de l'ordre de grandeur de celles mesurées dans la cheminée d'évacuation. Ces concentrations confirment que l'étanchéité du volet motorisé est déficiente et tendent à démontrer

que la pression statique à l'intérieur du conduit de dérivation est inférieure à la pression dans le conduit d'évacuation, ce qui explique le transfert du traceur à travers le volet.

L'analyse des concentrations de traceur en période de pistolage (excluant les concentrations lors des arrêts pour remplissage du godet) révèle que la concentration moyenne dans l'évacuation est de 22,7 ± 2,7 ppm avec un coefficient de variation de 0,12. La faible valeur du coefficient de variation témoigne du peu de fluctuation de la concentration moyenne de traceur dans l'évacuation confirmant ainsi l'hypothèse de départ selon laquelle le mélange air-contaminant est à l'équilibre.

Les indices de fuite moyens (IF) établis à partir des concentrations moyennes aux deux postes et de la concentration moyenne dans la cheminée d'évacuation de 21,3 ppm (figure 17) sont, respectivement pour les postes 1et 2 de 13 et 10%. En raison de la distribution non-paramétrique des données, les moyennes géométriques ont été utilisées pour le calcul de l'indice.

### *Efficacité de captage*

L'efficacité minimale de captage, $\eta_c$ (95%) est égale à 73%.

### *Essai avec source fumigène*

Les observations révèlent de faibles fuites vers l'extérieur de l'aire de préparation. De façon générale l'écoulement de la fumée se fait vers la fosse d'extraction est satisfaisant et ce sur toute la hauteur du véhicule (photo 4b).

## 4. DISCUSSION

De façon générale, l'étude démontre que la technique de traçage permet d'obtenir, comparativement à l'échantillonnage des contaminants, une évaluation plus détaillée du potentiel de confinement des aires de préparation. À de faibles concentrations, la sensibilité analytique de la méthode d'analyse du traceur est plus basse que celle des méthodes pour les isocyanates ciblés.

Tel qu'indiqué au protocole expérimental, dans tous les bâtiments les essais ont été réalisés alors que (1) les systèmes de ventilation générale et locale desservant les postes de travail à proximité ou les ateliers adjacents étaient inopérants, et (2) les fenêtres et les portes donnant accès à l'extérieur étaient fermées. La transposition des résultats dans des conditions d'utilisation différentes que celles qui prévalaient lors des essais doit être faite avec discernement. À titre d'exemple, une variation des pressions relatives entre l'intérieur et l'extérieur d'une aire de préparation (ne possédant pas de système d'air de compensation) peut avoir une incidence significative sur les paramètres aérauliques. Le fonctionnement d'un système de ventilation non équilibré (ex. débit d'évacuation supérieur au débit d'alimentation) dans une zone adjacente à l'aire de préparation pourrait favoriser l'exfiltration des contaminants hors de celle-ci. De plus, l'ouverture de portes de garage situées à proximité des aires de préparation peut engendrer des courants d'air qui perturbent l'écoulement de l'air dans le voisinage de celles-ci, favorisant ainsi les émissions fugitives.

L'utilisation d'un indice de fuite, calculé à partir du rapport entre les concentrations moyennes de traceur à l'extérieur et à l'intérieur de l'aire de préparation, nous apparaît comme un indicateur relativement fiable pour comparer le potentiel de confinement des installations entre elles. À notre avis, les données obtenues supportent l'hypothèse de départ à l'effet que les concentrations de traceur dans l'évacuation peuvent être utilisées comme valeur de référence pour l'intérieur de l'aire de préparation puisque les concentrations atteignent rapidement un niveau d'équilibre (et ce même après un arrêt pour remplissage du godet) et présentent peu de fluctuations.

Le tableau 5 présente un résumé des principaux résultats obtenus lors de la période de pulvérisation et se limitent aux concentrations de HDI à l'extérieur des aires de préparation.

Tableau 5

| AIRE DE PRÉPARATION | HDI (MONOMÈRE) | HDI (OLIGOMÈRES) | INDICE DE FUITE (IF) | EFFICACITÉ DE CAPTAGE ($\eta_c$) | FUMÉE |
|---|---|---|---|---|---|
| 1- Modèle Concept Prep | Concentrations rapportées basées sur VMR | Concentrations rapportées basées sur VMR | 0,06% à 0,35% | 58% | Faible |
| 2- Modèle Ultraprep | Concentrations rapportées basées sur VMR | Concentrations rapportées basées sur VMR | 3% à 166% | 62% | Moyen |
| 3- Modèle Multi-prep 3 | Concentration maximale < à 2,6% de la VEMP | Concentrations rapportées basées sur VMR | 0,2% à 0,8% | 39% | Moyen |
| 4- Modèle Prep Station | Concentration maximale < à 9,0% de la VEMP | Concentrations rapportées basées sur VMR | 10% et 13% | 73% | Faible |

Les résultats indiquent que les concentrations de HDI (monomère) sont faibles; la concentration maximale mesurée étant inférieure à 9% de la VEMP. Il est à noter que la concentration rapportée pour l'aire de préparation no 4 constitue une valeur surestimée en raison d'une contamination du témoin. Toutes les concentrations de HDI (oligomères) ont été calculées à partir de la valeur minimum rapportée. Bien que les quantités de peinture pulvérisées lors des essais dans les aires de préparation 1 et 3 aient été inférieures à celles prévues au protocole, nous croyons, après analyse des concentrations mesurées dans l'ensemble des installations, que l'impact de cette situation sur les conclusions de l'étude est mineur.

Les indices de fuite des aires de préparation 1 et 3 sont relativement bas comparativement aux deux autres installations. Il est à noter que les installations 2 et 4 qui présentent des indices élevés sont dotées d'un dispositif de compensation d'air neuf intégré. Pour chacune de ces installations, le débit d'air d'alimentation est supérieur au débit d'évacuation, ce qui provoque une surpression à l'intérieur de l'aire de préparation et favorise l'exfiltration du traceur ou des contaminants. Il est à noter que le décalage aéraulique de ces installations est recommandé par les manufacturiers pour éviter une migration des contaminants aéroportés provenant de l'extérieur et qui pourrait affecter la qualité de la peinture appliquée. Toutefois, l'encrassement des filtres peut entraîner une diminution du débit d'aspiration et ainsi accentuer le décalage aéraulique. L'utilisation d'un manomètre pour déterminer l'évolution de la perte de charge à travers le média filtrant ne constitue pas une mesure fiable permettant de prédire la chute du débit d'aspiration. Une station de mesure intégrée devrait être utilisée à cette fin.

Les installations 2 et 4 disposent d'un plafond soufflant qui induit un écoulement d'air vertical vers le sol. Dans le cas de l'installation no 4, la présence d'une fosse d'extraction au sol semble favoriser davantage le captage des émissions comparativement à l'installation no 2 dont l'écoulement de l'air (entre le plafond et le capteur latéral) se fait de façon oblique, ce qui permet un balayage partiel de l'aire de pulvérisation. À cet égard, on note que le système de ventilation du modèle 4 permet une efficacité de captage de 11% supérieure à celle du modèle 2. La combinaison de deux facteurs, surpression à l'intérieur des aires de préparation et écoulement vertical favorisant les émissions fugitives au niveau du sol pourrait expliquer le fait que les concentrations de traceur à l'extérieur de ces deux installations soient supérieures aux deux autres. Nous suspectons que les émissions fugitives des deux autres installations se produisent principalement sur la partie supérieure et que par effet de flottabilité les émissions migrent principalement vers la partie supérieure du bâtiment plutôt que vers le sol. Cette hypothèse est d'ailleurs supportée par les observations effectuées lors des essais avec la source fumigène à l'installation no 1 ainsi que par les concentrations élevées de traceur mesurées à l'extérieur de l'installation no 3 à la hauteur du plafond soufflant.

Par ailleurs, les essais ont permis de confirmer que le volet motorisé de recirculation (pour le passage du mode pistolage au mode recyclage) des installations 1, 3 et 4 n'est pas étanche et qu'il permet une recirculation partielle de l'air évacué par le plafond soufflant dans l'aire de préparation. La quantité d'air à la sortie du plafond soufflant pouvant être recirculée dépend de différents facteurs, notamment du débit d'évacuation, du degré d'étanchéité du volet, du temps d'opération du système de ventilation et si le plafond soufflant est utilisé pour introduire l'air de remplacement (installations 2 et 4). L'impact de cette déficience est à notre avis mineur si l'on considère que le peintre porte une protection respiratoire à adduction d'air. Toutefois dans le cas de l'installation no 3, la surface de diffusion du plafond soufflant excède la surface de l'aire de préparation ce qui pourrait favoriser, sur période d'utilisation prolongée, une contamination à l'extérieur de l'aire de préparation. En ce qui a trait à la cabine no 2 qui n'a pas fait l'objet d'une vérification spécifique quant à la recirculation, nous croyons celle-ci nécessaire considérant la conception du dispositif de ventilation.

À priori, il devrait être possible de mettre en relation l'efficacité de captage et les concentrations de HDI à l'intérieur de l'aire de préparation : une efficacité de captage élevée s'accompagnant, théoriquement, de faibles concentrations de contaminants. Or, tel qu'indiqué au tableau 6, les résultats obtenus ne permettent pas d'établir de façon concluante la relation entre l'efficacité de captage et les concentrations de HDI mesurées lors de la période de pulvérisation. La faible proportion d'isocyanates dans la peinture explique en partie les faibles concentrations mesurées. Il est à noter que pour les installations 1 et 2, la majorité des concentrations (10 sur 12) sont calculées à partir de la VMR alors les concentrations mesurées pour le modèle no 4 sont surestimées en raison d'une contamination du témoin ce qui rend difficile toute comparaison. Toutefois, l'aire de préparation no 3 présente une efficacité de captage de seulement 39% et des concentrations de HDI relativement plus élevées que les autres installations si l'on considère la consommation réduite de peinture (50% de moins).

Tableau 6

| AIRE DE PRÉPARATION | PEINTRE | | POSTE 1 | | POSTE 2 | | EFFICACITÉ DE CAPTAGE ($\eta_c$) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | monomère | oligomères | monomère | oligomères | monomère | oligomères | |
| 1- Modèle Concept Prep | 0,0004* | 0,0006* | 0,0004* | 0,0006* | 0,0004* | 0,0006* | 58% |
| 2- Modèle Ultraprep | 0,0007* | 0,015 | 0,0007* | 0,04 | 0,0007* | 0,0012* | 62% |
| 3- Modèle Multi-prep 3 | 0,003 | 0,138 | 0,0034 | 0,16 | 0,0013 | 0,0009* | 39% |
| 4- Modèle Prep Station | 0,005[1] | 0,063[1] | 0,006[1] | 0,13[1] | 0,008[1] | 0,03[1] | 73% |

*: valeur calculée à partir de la VMR
[1] : concentration surestimée

## 5. CONCLUSION

La méthode par traçage effectuée dans des conditions environnementales contrôlées, a permis de documenter, de façon détaillée, la performance des systèmes de ventilation soumis à l'étude. La faible quantité d'isocyanates dans l'apprêt, jumelée à l'efficacité de confinement des différents systèmes constituent les principaux facteurs qui expliquent les basses concentrations de HDI mesurées. Dans les situations observées, le peintre est peu exposé aux isocyanates pendant l'application. Dans les aires de préparation en évaluation, la dispersion des isocyanates à l'extérieur de l'aire de pulvérisation est très faible. L'incidence des conditions d'utilisation et d'opération des dispositifs de ventilation (pressurisation, variations des débits, recyclage de l'air contaminé) sur le potentiel d'exfiltration des contaminants hors des aires de préparation doit être mise en évidence aux utilisateurs. De plus, la proximité des portes et des fenêtres doit être pris en compte lors de l'installation de ces installations afin de limiter l'impact des courants d'air perturbateurs qui peuvent créer un déséquilibre des conditions aérauliques, augmentant ainsi les risques de migration des contaminants hors de l'aire de préparation.

## 6. RÉFÉRENCES

1. Goyer N., Lesage J., Vincent, J.-Y. - *Les isocyanates dans les ateliers de peinture automobile : évaluation de l'exposition*, Rapport de recherche IRSST R-037, Montréal,1989.

2. Goyer, N. *Critères de performance des cabines de peinture munies de ventilation verticale*, Rapport de recherche IRSST R-068, Montréal, 1993.

3. Lesage J., Perrault G.- *Sampling Device*. United States Patent Number 4,961,916, Oct. 9, 1990.

4. Lesage J., Goyer N., Desjardins F., Vincent J.-Y., Perrault G.- *Workers' Exposure to Isocyanates*. American Industrial Hygiene Association Journal, 1992, vol. 53, no 2, p. 146-153.

Tableau 6

| AIRE DE PRÉPARATION | PEINTRE | | POSTE 1 | | POSTE 2 | | EFFICACITÉ DE CAPTAGE (%) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | monomère | oligomères | monomère | oligomères | monomère | oligomères | |
| 1- Modèle Concept Prep | 0,0004* | 0,0006* | 0,0004* | 0,0006* | 0,0004* | 0,0006* | 88 |
| 2- Modèle Uniprep | 0,0007* | 0,015 | 0,0007* | 0,04 | 0,0007* | 0,0012* | 62 |
| 3- Modèle Multiprep | 0,003 | 0,138 | 0,0034 | 0,16 | 0,0013 | 0,0009* | 59 |
| 4- Modèle Prep Station | 0,005[1] | 0,063[1] | 0,006[1] | 0,13[1] | 0,008[1] | 0,03[1] | 73 |

* Valeur calculée à partir de la VMR (concentration surestimée)

## 5. CONCLUSION

La méthode par traçage effectuée dans des conditions environnementales contrôlées, a permis de documenter, de façon détaillée, la performance des systèmes de ventilation soumis à l'étude. La faible quantité d'isocyanates dans l'apprêt, jumelée à l'efficacité de confinement des différents systèmes constituent les principaux facteurs qui expliquent les basses concentrations de HDI mesurées. Dans les situations observées, le peintre est peu exposé aux isocyanates pendant l'application. Dans les aires de préparation en évaluation, la dispersion des isocyanates à l'extérieur de l'aire de pulvérisation est très faible. L'incidence des conditions d'utilisation et d'opération des dispositifs de ventilation (pressurisation, variations des débits, recyclage de l'air contaminé) sur le potentiel d'exfiltration des contaminants hors des aires de préparation doit être mise en évidence aux utilisateurs. De plus, la proximité des portes et des fenêtres doit être pris en compte lors de l'installation de ces installations afin de limiter l'impact des courants d'air perturbateurs qui peuvent créer un déséquilibre des conditions aérauliques, augmentant ainsi les risques de migration des contaminants hors de l'aire de préparation.

## 6. RÉFÉRENCES

1. Goyer N., Lesage J., Vincent, J.-Y. - *Les isocyanates dans les ateliers de peinture automobile : évaluation de l'exposition*. Rapport de recherche IRSST R-037, Montréal,1989.

2. Goyer, N. *Critères de performance des cabines de peinture munies de ventilation verticale*. Rapport de recherche IRSST R-068, Montréal, 1993.

3. Lesage J., Perrault G.- *Sampling Device*. United States Patent Number 4,961,916, Oct. 9, 1990.

4. Lesage J., Goyer N., Desjardins F., Vincent J.-Y., Perrault G.- *Workers' Exposure to Isocyanates*. American Industrial Hygiene Association Journal, 1992, vol. 53, no 2, p. 146-153.

5. Lesage J., Perrault G., Desjardins F. - *Caractérisation physique et chimique de l'exposition des travailleurs aux isocyanates*. Rapport de recherche IRSST, 1988.

6. IRSST. - *Méthode Analytique 224-3, Dosage du Diisocyanate d'hexamethylène (HDI) dans l'air sous forme de vapeur*. Institut de recherche Robert Sauvé en santé et en sécurité du travail, Montréal, 1993.

7. Gouvernement du Québec.- *Règlement sur la santé et la sécurité du travail*, décret 885-2001, Éditeur officiel du Québec, 2001.

8. IRSST.- *Méthode Analytique 234-2, Dosage du Diisocyanate d'hexamethylène (HDI) dans l'air sous forme d'aérosol*. Institut de recherche Robert Sauvé en santé et en sécurité du travail, Montréal, 1993.

9. INRS.- *Méthode de mesure. Comparaison des efficacités de captage mesurées par traçage gazeux et particulaires*. Paris, 1997, Cahiers de notes documentaires – Hygiène et sécurité du travail, ND 2066-169-97.

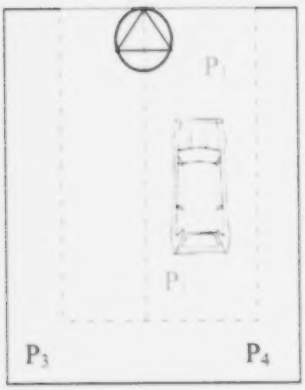
10. Bruël & Kjaer. - Fiche technique et maintenance, Moniteur multigaz type 1302. BP 0867-11. Danemark.

11. AFNOR. NF EN 1093-4. - *Sécurité des machines, Évaluation de l'émission de substances dangereuses véhiculées par l'air, Partie 4 : efficacité de captage d'un système d'aspiration, Méthode par traçage*. Association française de normalisation, Paris, 1996.

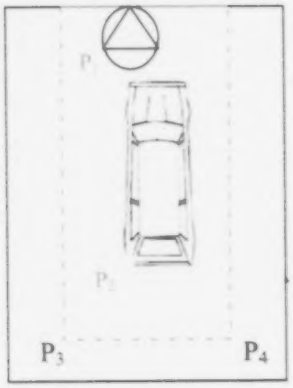
# Annexe

## *LOCALISATION DES POSTES POUR PRÉLÈVEMENTS DE HDI ET SOLVANTS*

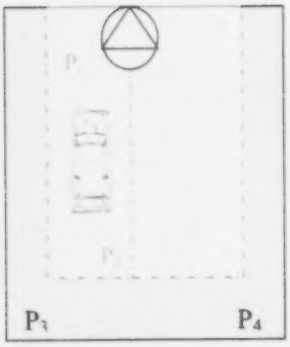
MODÈLE ULTRAPREP



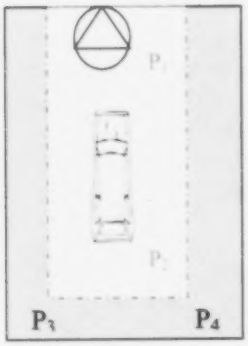

MULTI-PREP 3



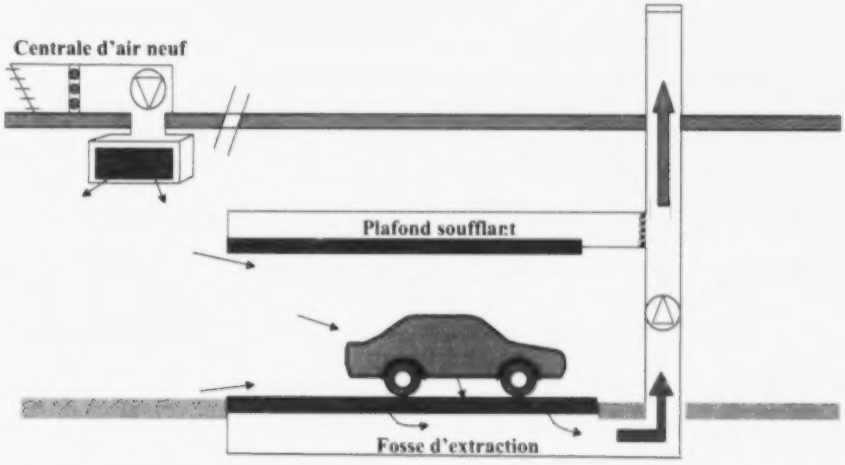

MODÈLE PREP STATION




MODÈLE CONCEPT PREP

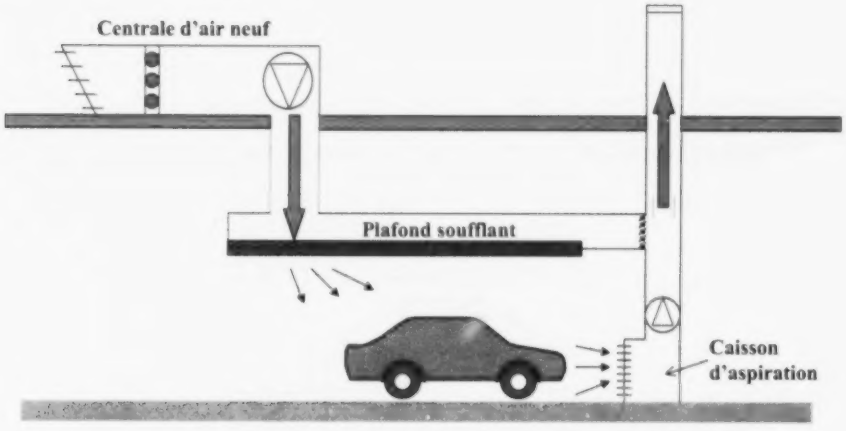


# FIGURES



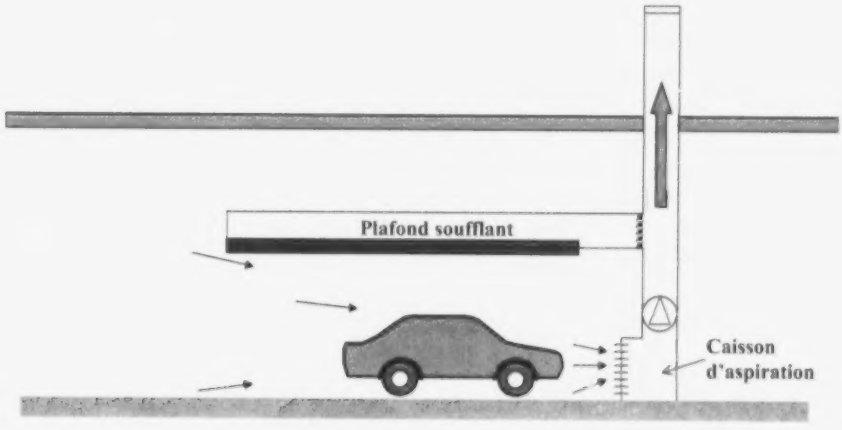

**Concept prep**

**Figure 1**



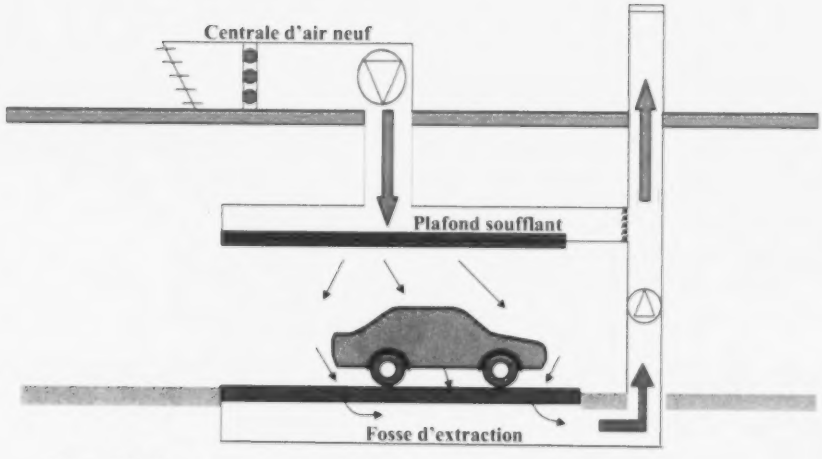

**Ultra prep**

**Figure 2**




**Multi prep 3**

**Figure 3**




**Prep Station**

**Figure 4**

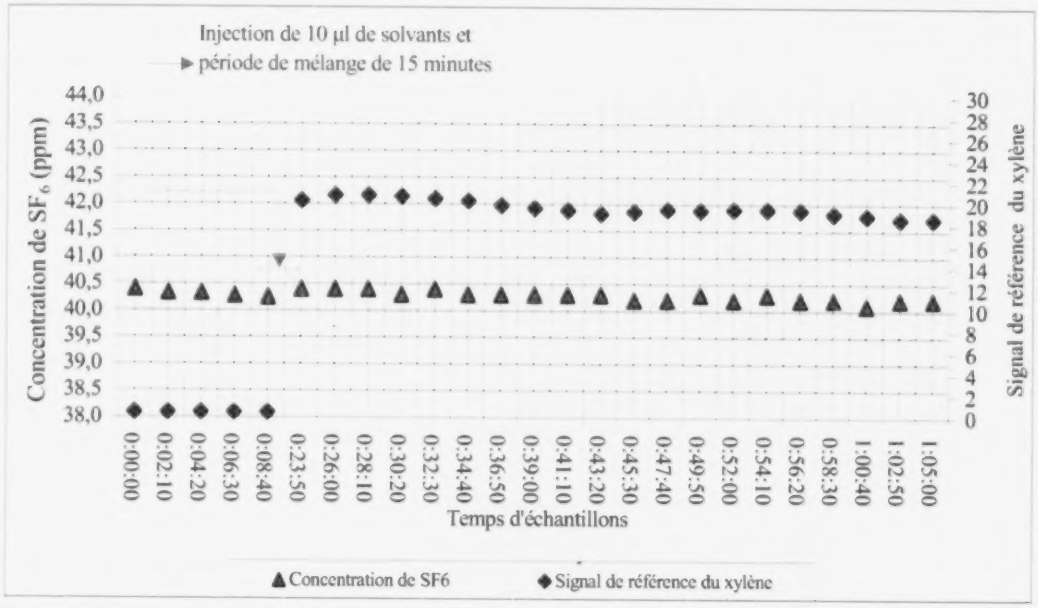
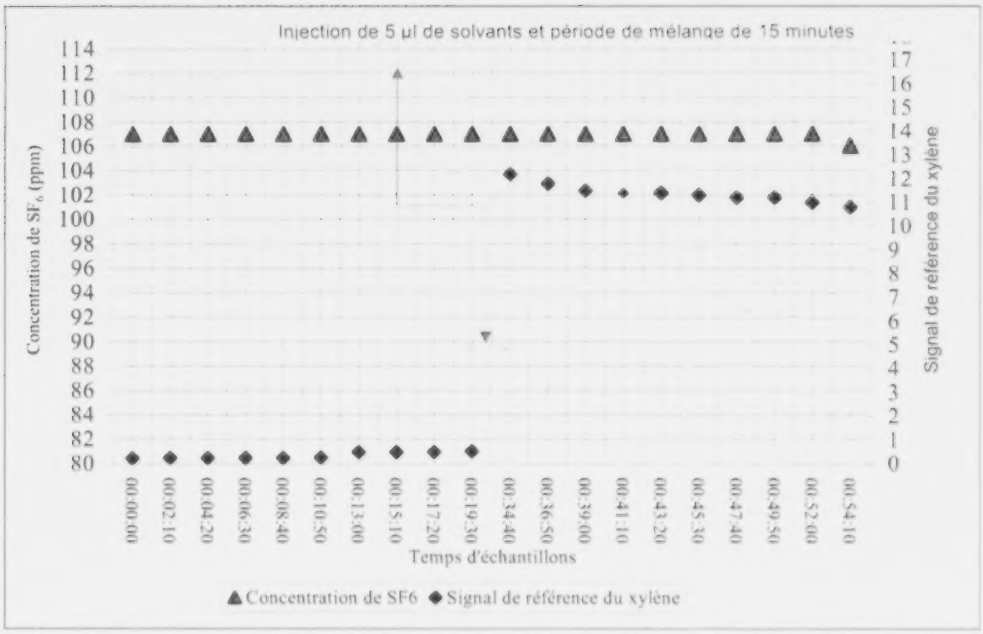



**Figure 5. Variations des concentrations de $SF_6$ lors d'une injection de 10 µL de solvants de peinture**




(1) : Période de mélange de 15 minutes.

**Figure 6. Variations des concentrations de $SF_6$ lors d'une injection de 5 µL de solvants de peinture**

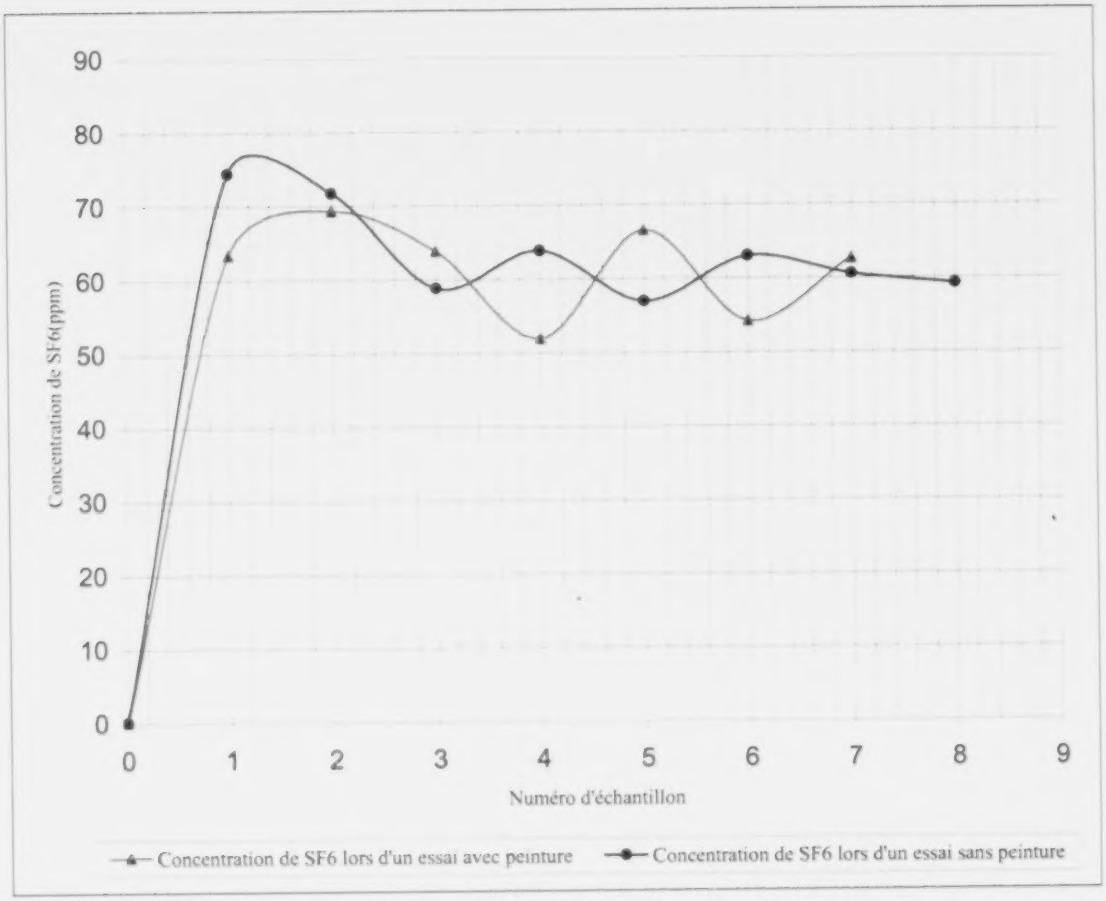



**Figure 7. Variations des concentrations de $SF_6$ avec et sans peinture**

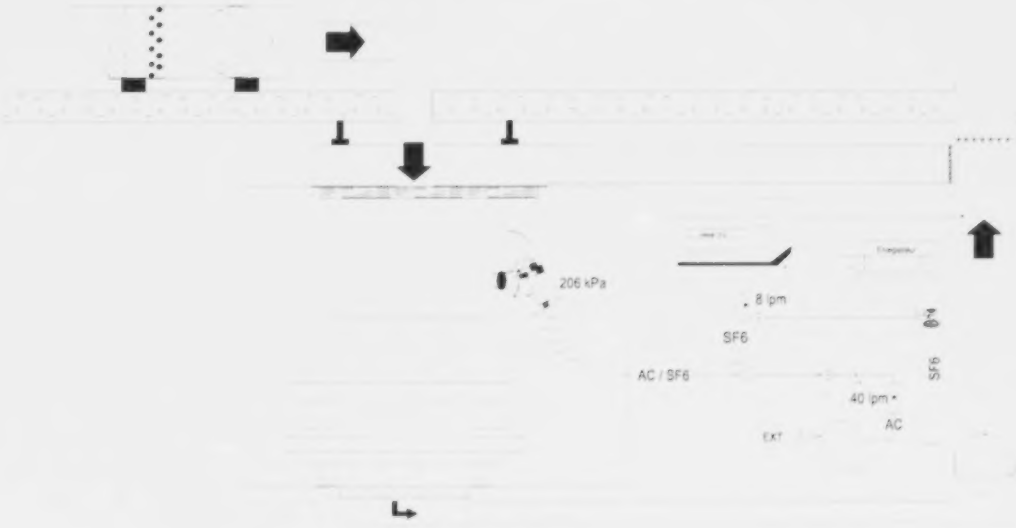
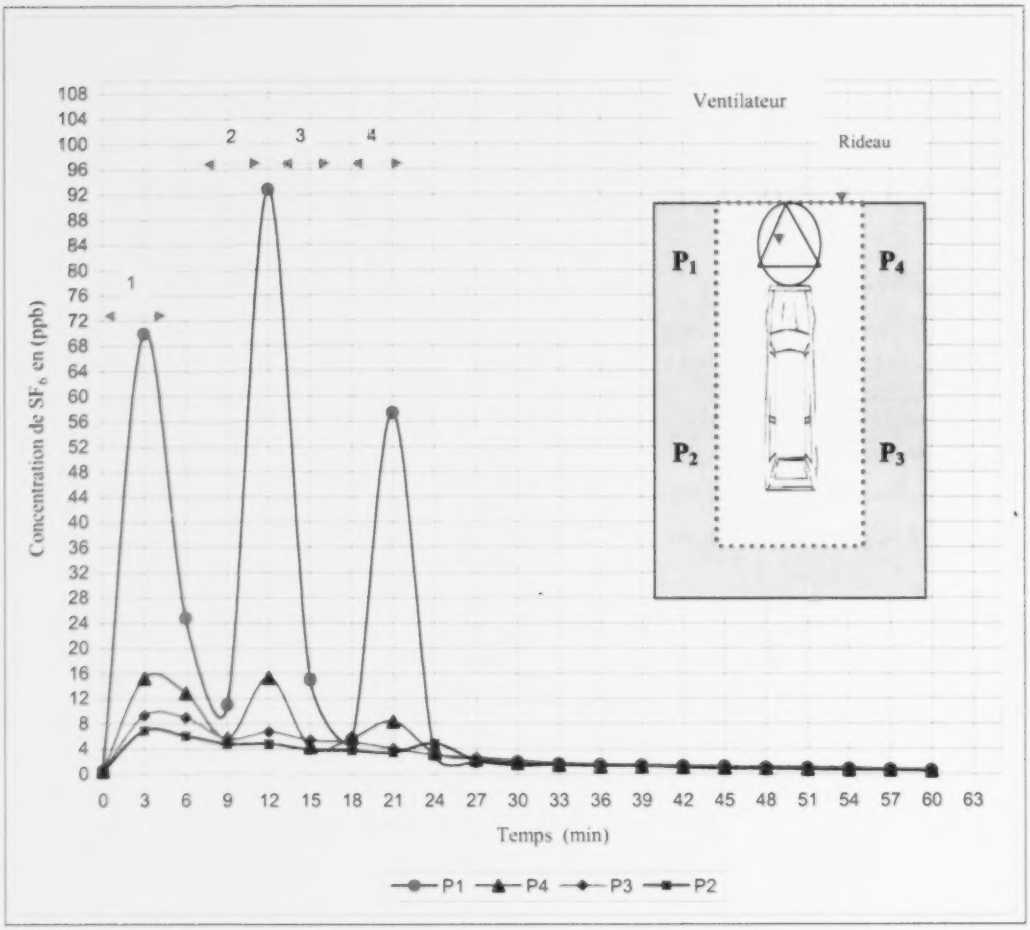
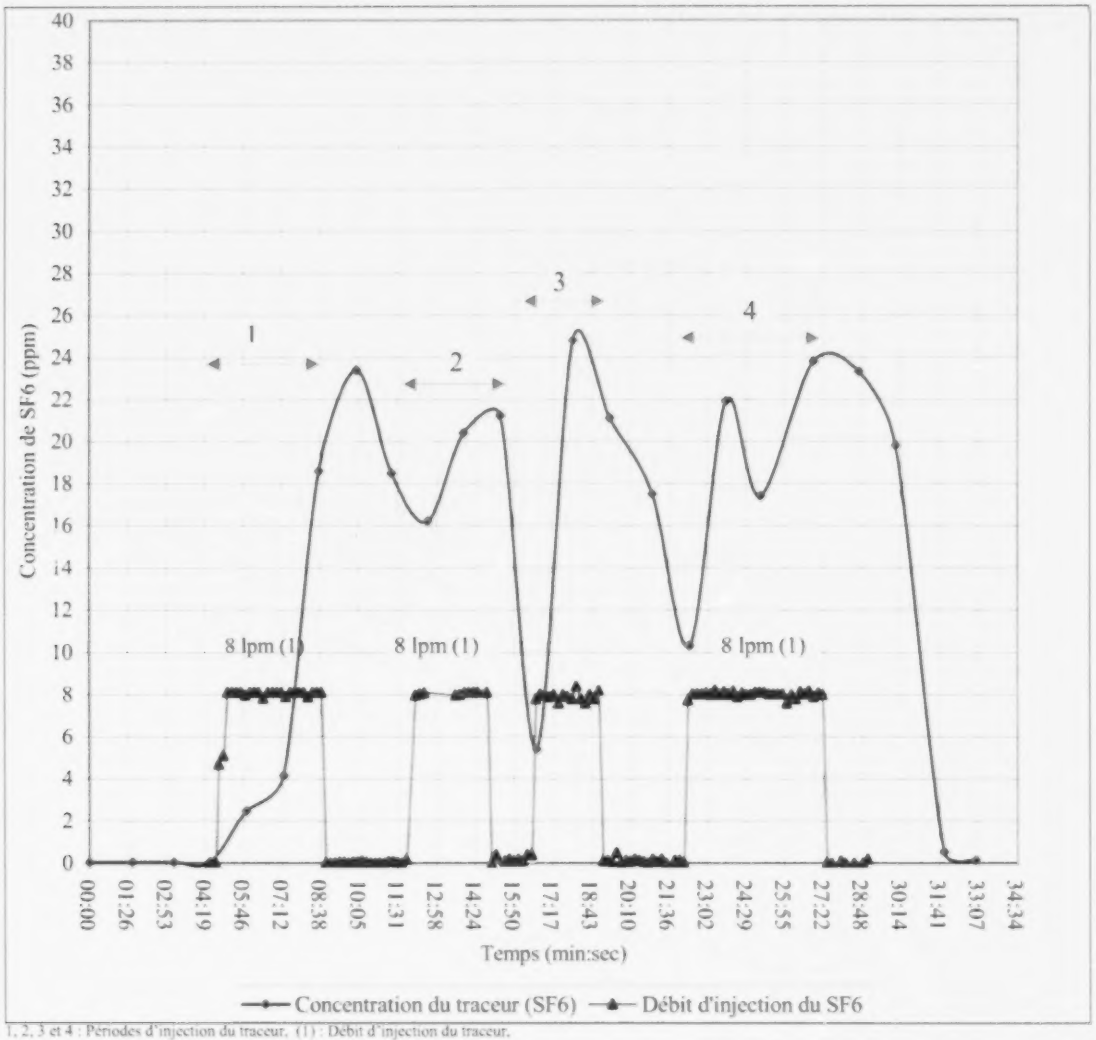



**Figure 8. Schéma typique du montage d'injection de traceur**



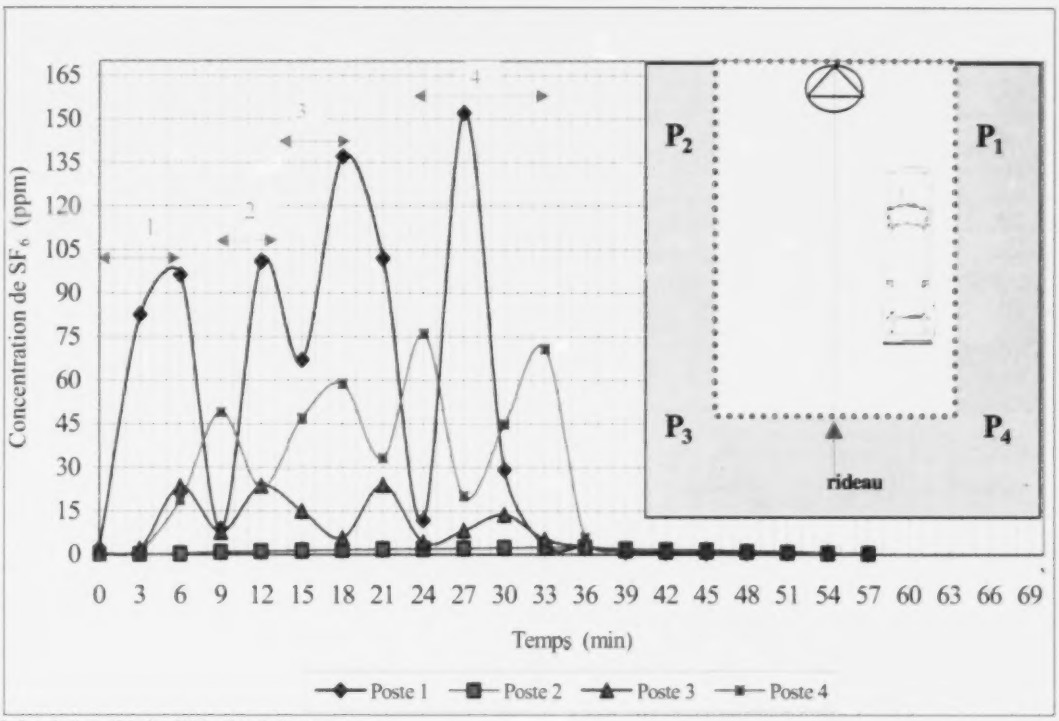

1, 2, 3 et 4: Périodes d'injection du traceur.

**Figure 9. Variation de la concentration de $SF_6$ dans le voisinage de l'aire de préparation Concept prep**



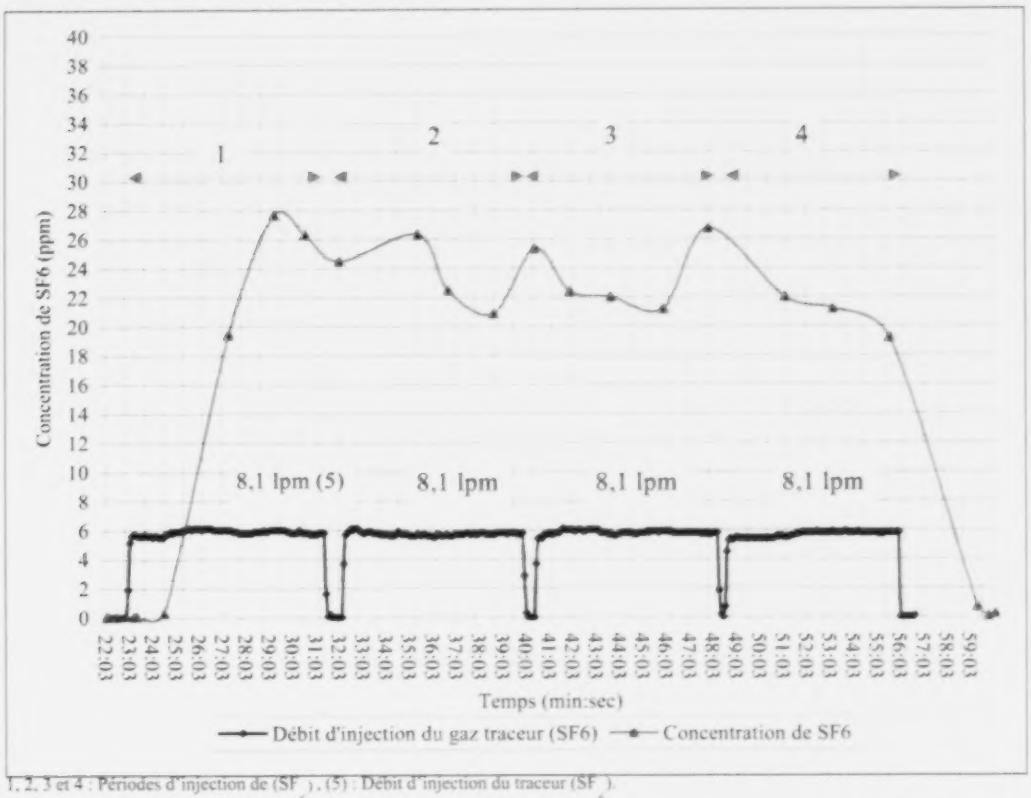

1, 2, 3 et 4 : Périodes d'injection du traceur. (1) : Débit d'injection du traceur.

**Figure 10. Variation de débit d'injection et de la concentration de $SF_6$ dans la cheminée lors de l'application de la peinture (Concept prep)**



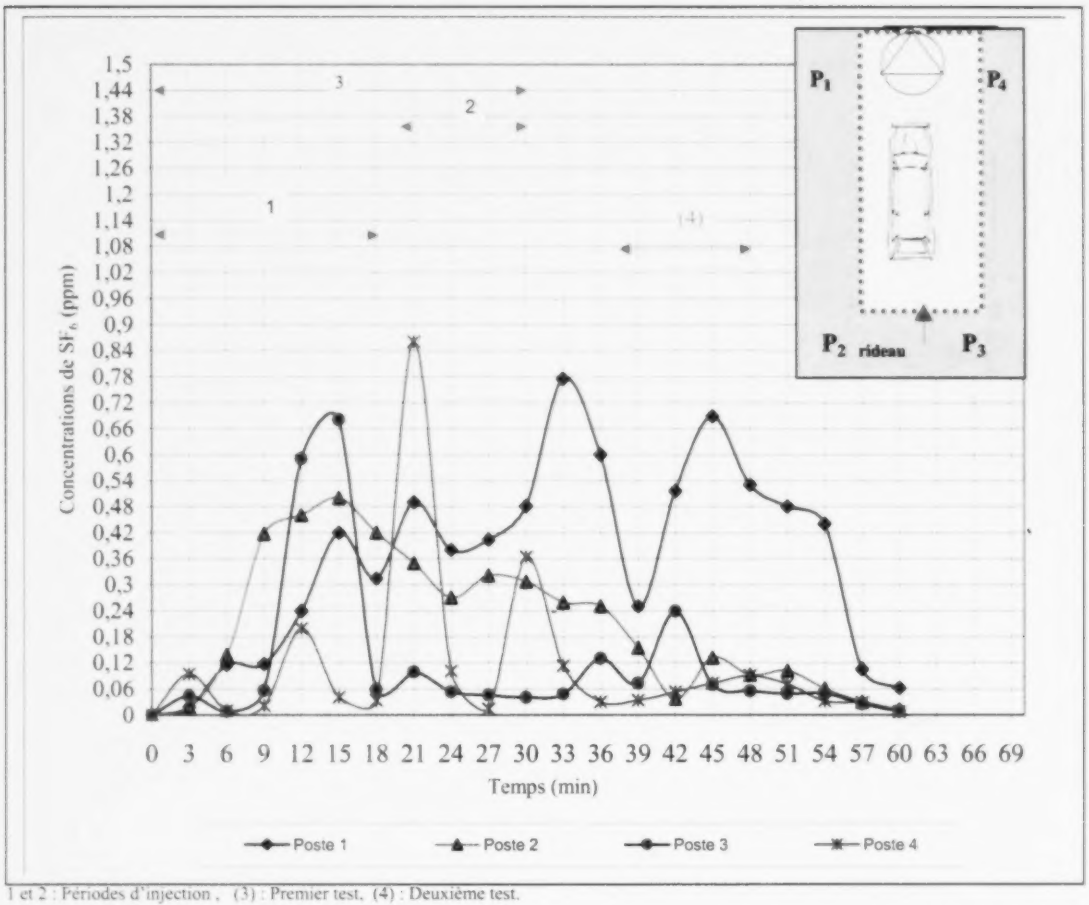

1, 2, 3 et 4 : Les périodes d'injection du traceur.

**Figure 11. Variations des concentrations de $SF_6$ aux postes d'échantillonnage au cours de la pulvérisation de peinture (Ultra prep)**



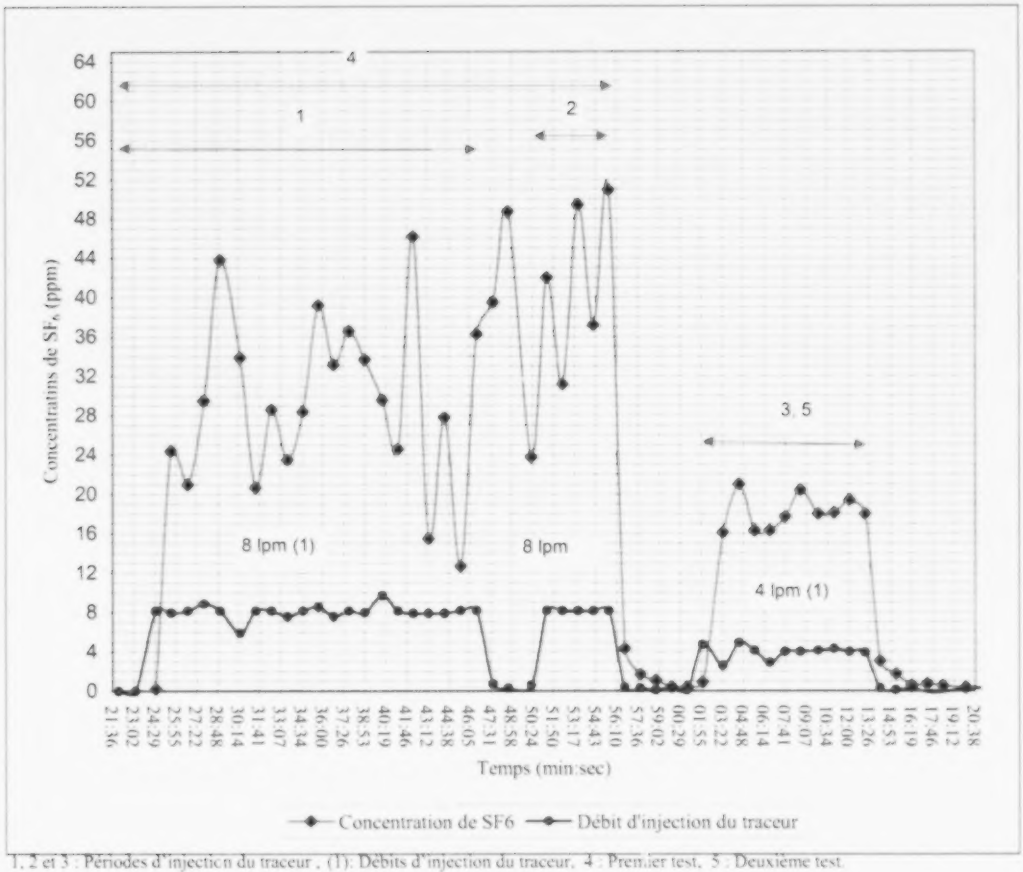

1, 2, 3 et 4 : Périodes d'injection de ($SF_6$) ; (5) : Débit d'injection du traceur ($SF_6$).

**Figure 12. Variation de débit d'injection et de la concentration de $SF_6$ dans la cheminée lors de l'application de la peinture (Ultraprep)**



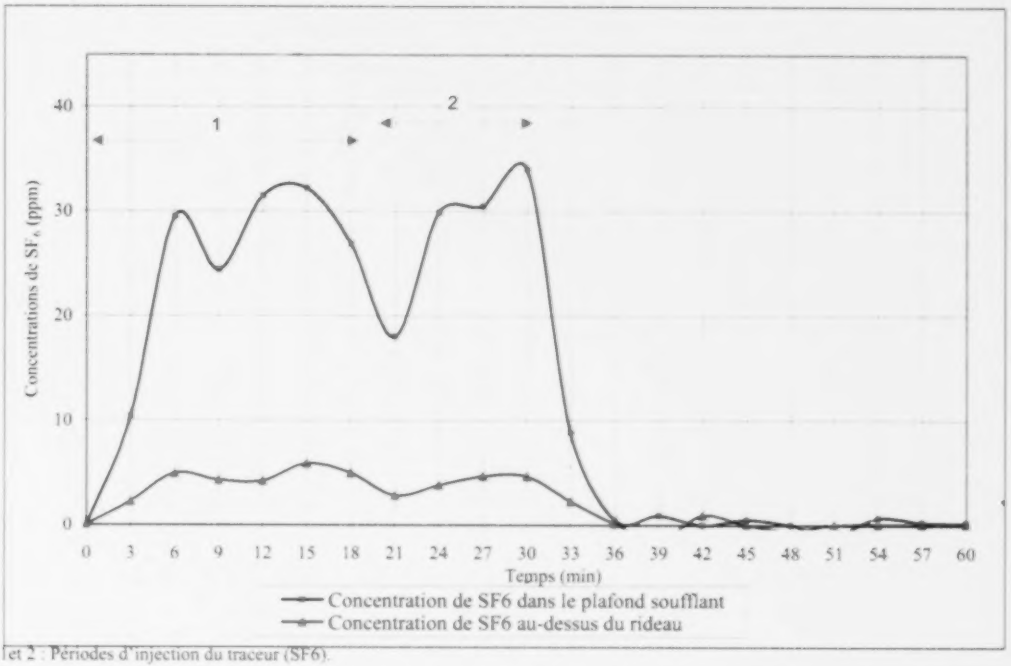

1 et 2 : Périodes d'injection , (3) : Premier test, (4) : Deuxième test.

**Figure 13. Variations de la concentration de $SF_6$ dans le voisinage de l'aire de préparation (Multi-prep 3)**



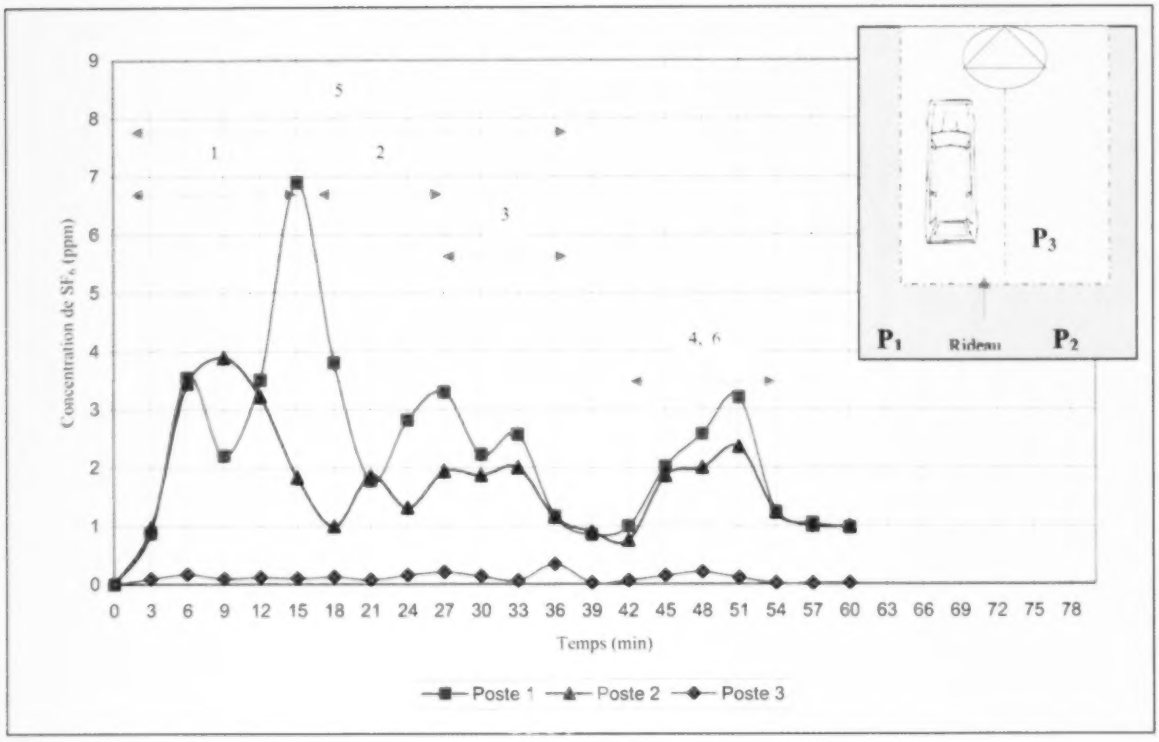

1, 2 et 3 : Périodes d'injection du traceur ; (1): Débits d'injection du traceur, 4 : Premier test, 5 : Deuxième test.

**Figure 14. Variations de débit d'injection et de la concentration de $SF_6$ dans la cheminée (Multi-prep 3)**



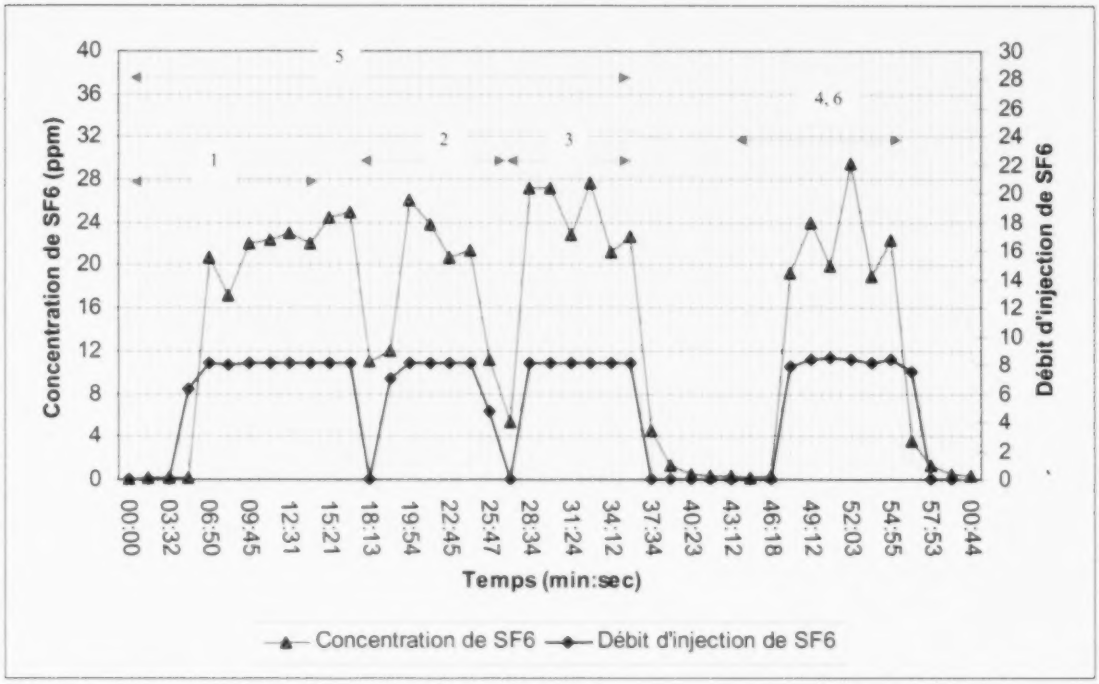

1et 2 : Périodes d'injection du traceur (SF6).

**Figure 15. Variation de la concentration de $SF_6$ dans le plafond soufflant et au-dessus du rideau (Multi-prep 3)**




1, 2 , 3 et 4 : Périodes d'injection du traceur , 5 : Premier test, 6: Deuxième test.

**Figure 16. Variations de la concentration de $SF_6$ dans le voisinage de l'aire de préparation (Prep Station)**




1, 2 , 3 et 4 : Périodes d'injection du traceur , 5 : Premier test, 6: Deuxième test.

**Figure 17. Variations de la concentration de $SF_6$ et du débit d'injection (Prep Station)**

# PHOTOS

**Photo 1 : Aire de preparation Concept prep**

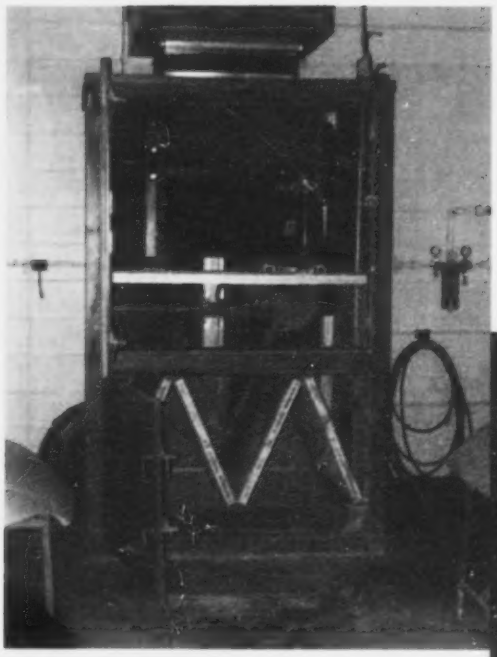


**Photo 1a : Caisson de filtration et ventilateur**

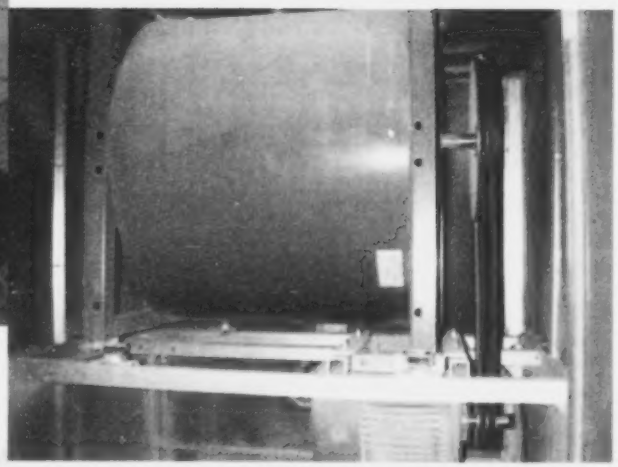


**Photo 1b : Proximité de l'orifice d'entrée relativement à la parois du caisson**

**Photo 2 : Aire de préparation Ultraprep**

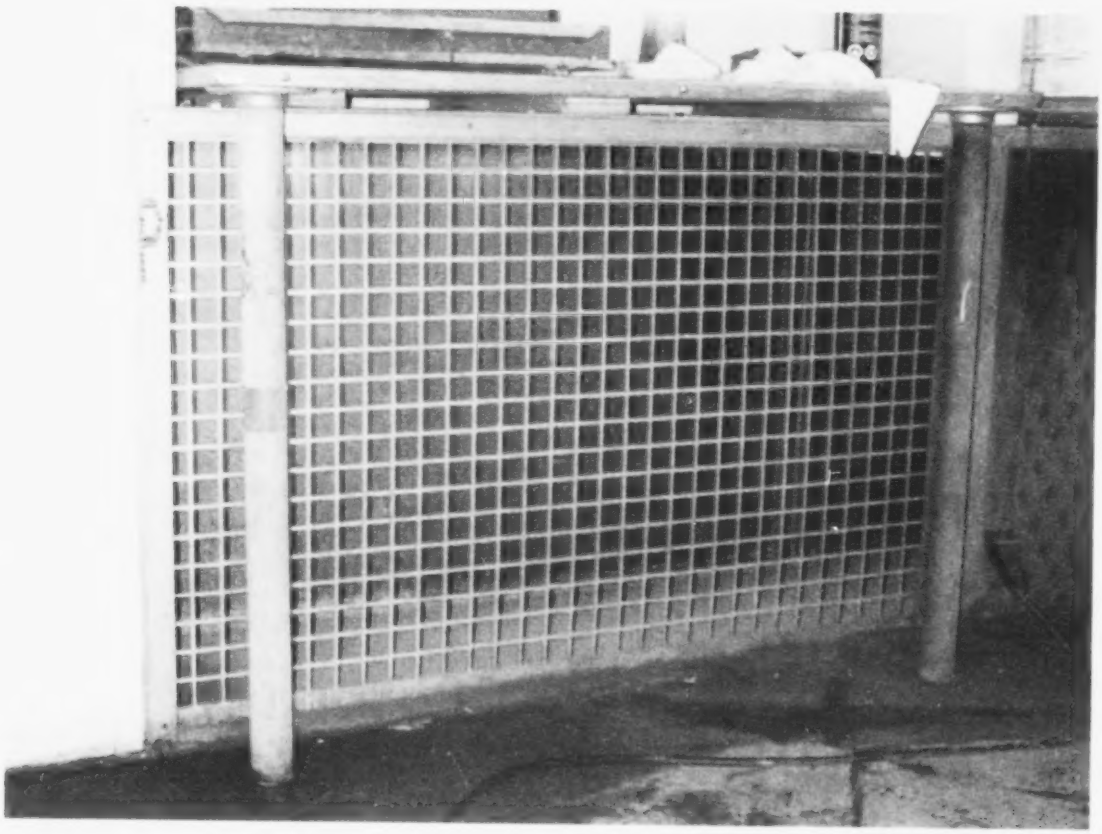


**Photo 2a : Capteur latéral**

**Photo 3 : Aire de préparation Multi-prep 3**

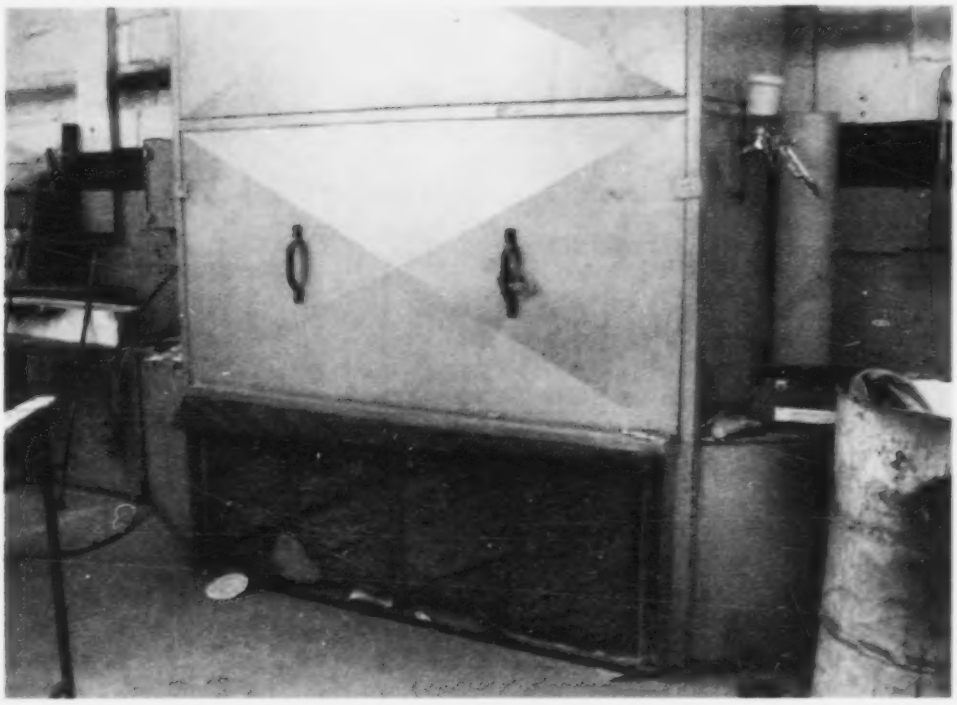


**Photo 3a : Capteur latéral**

**Photo 4 : Aire de préparation Prep Station**

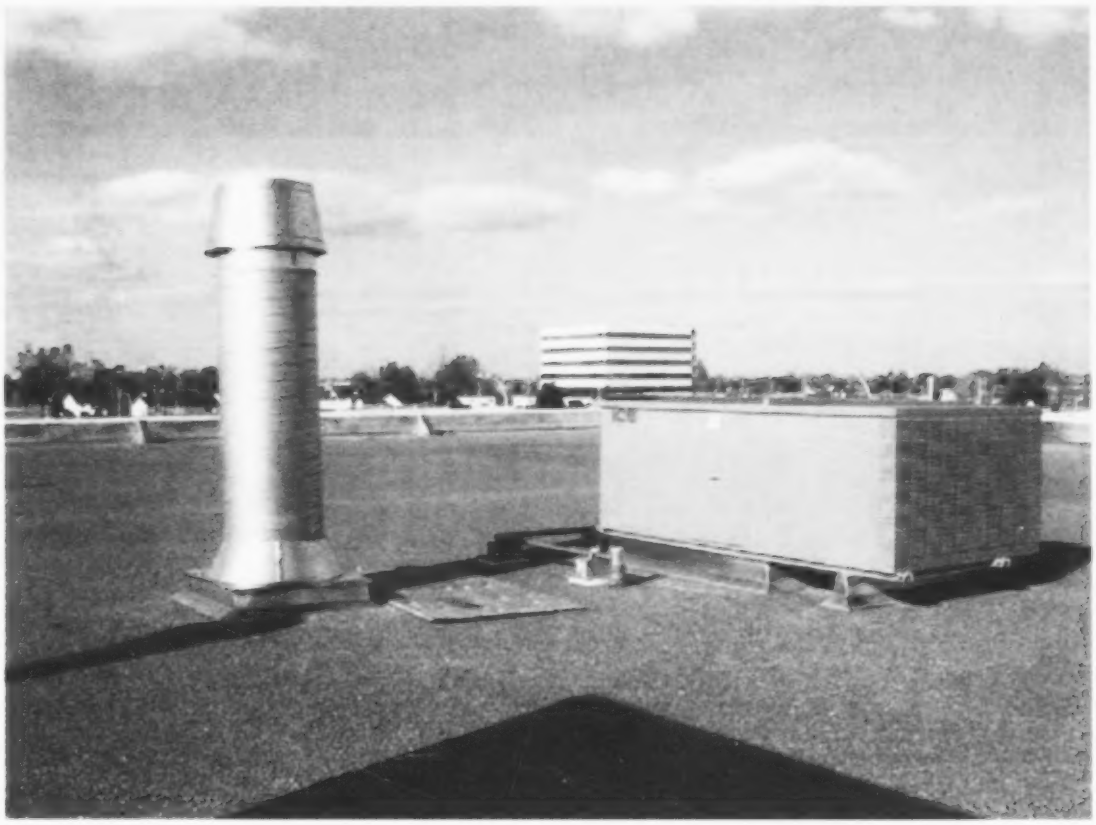


**Photo 4a : Proximité de la cheminée d'évacuation relativement à l'unité d'air de remplacement**

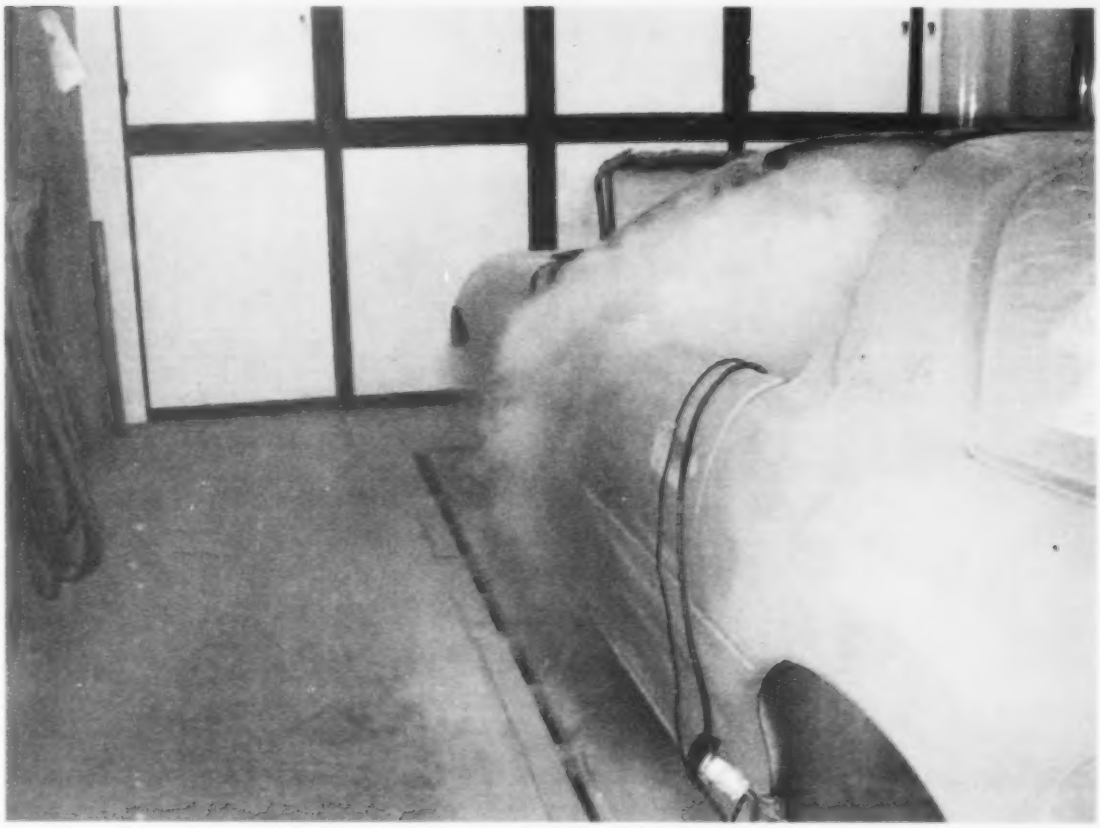


**Photo 4b : Fosse d'extraction**

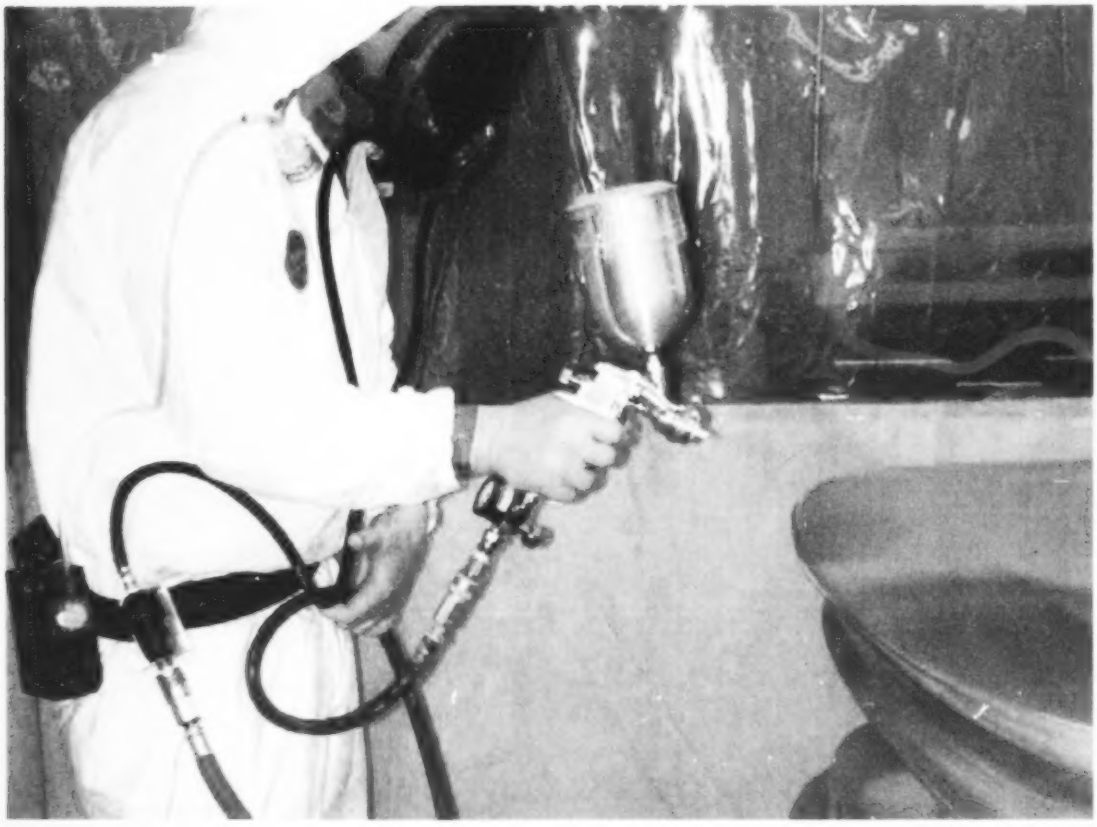


**Photo 5 : Pistolet HVLP**

**Photo 6 : Test d'interférence et stabilité chimique**

**Photo 7 : Module de prélèvements automatisés et pompes d'échantillonnage**

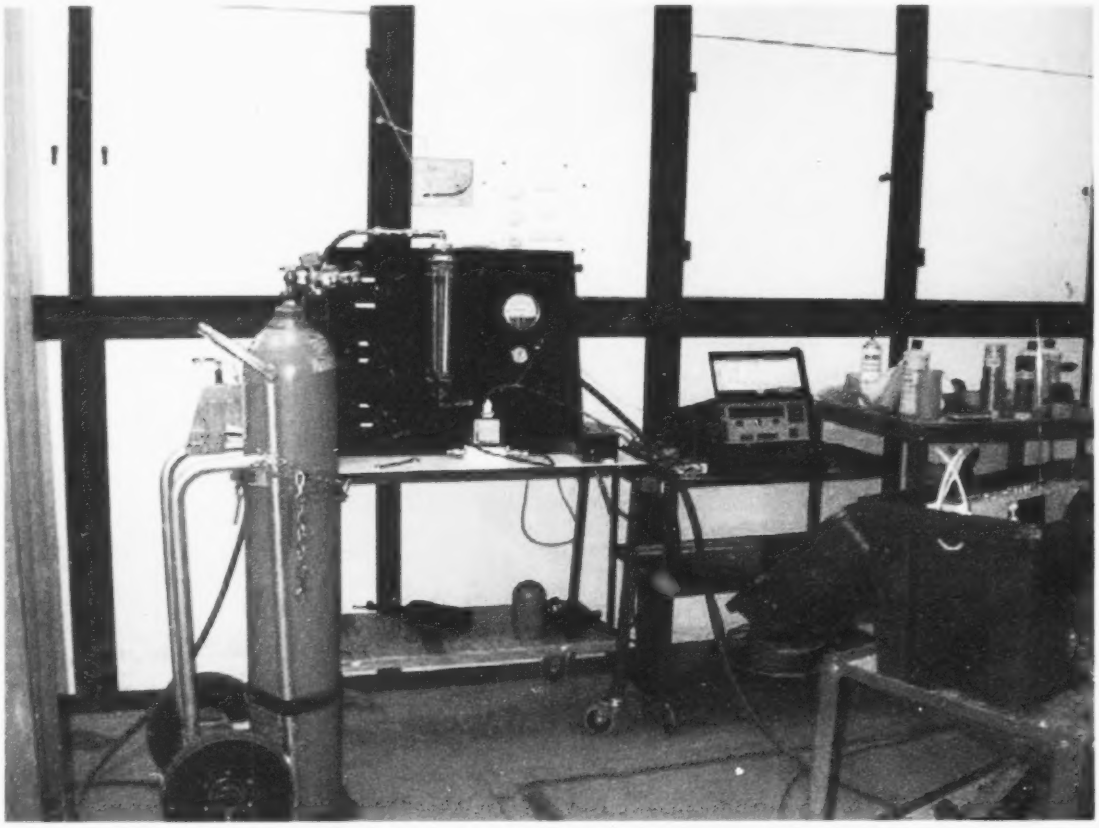
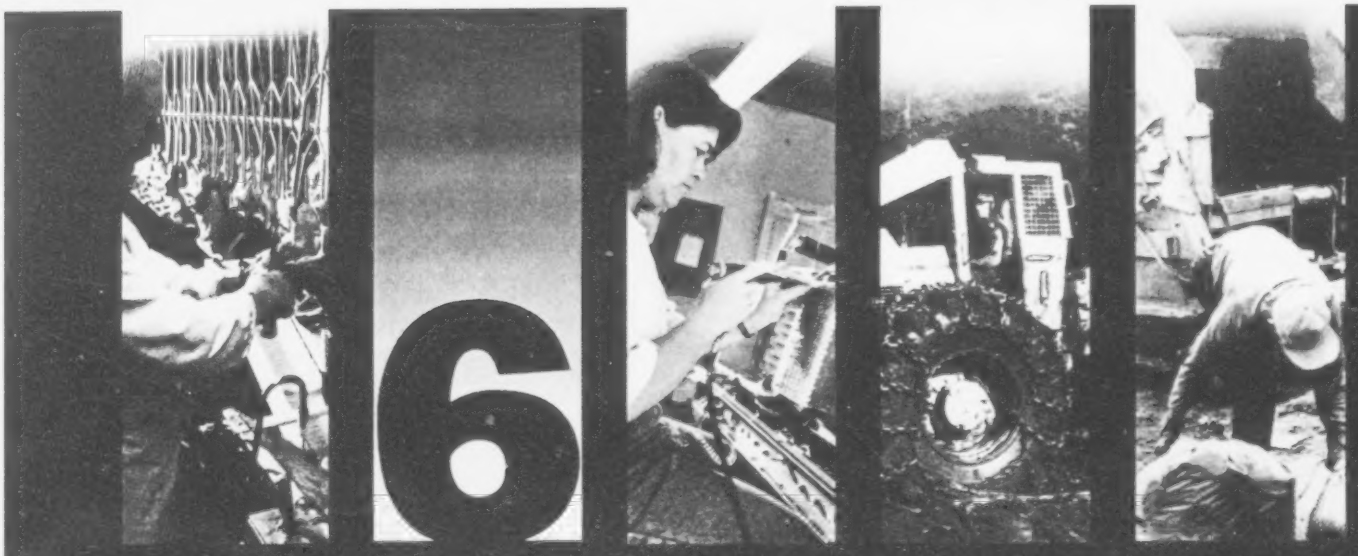


**Photo 8 : Système d'injection du traceur**



# 6 champs de recherche en santé et en sécurité du travail

- Accidents
- Bruit et vibrations
- Équipements de protection
- Sécurité des outils, des machines et des procédés industriels
- Substances chimiques et agents biologiques
- Troubles musculo-squelettiques

## Nos recherches *travaillent* pour VOUS !

Solidement implanté au Québec depuis 1980, l'Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail (IRSST) contribue, par la recherche, à la prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles et à la réadaptation des travailleurs qui en sont victimes.

**POUR EN SAVOIR PLUS...**

*Visitez notre site Web ! Vous y trouverez une information complète et à jour. De plus, toutes les publications éditées par l'IRSST peuvent être téléchargées gratuitement.*

irsst

**www.irsst.qc.ca**